



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

TEMA:

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

AUTOR: JOHN JAIRO PEÑAFIEL ESPINOZA

DIRECTOR: MSc. CARLOS HERNÁN PUPIALES YÉPEZ

Ibarra - Ecuador

2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100389857-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Peñañiel Espinoza John Jairo		
DIRECCIÓN:	Los Ceibos, Rio Santiago 2-29		
EMAIL:	jjpeniafiele@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2954 421	TELÉFONO MÓVIL:	0991146062

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA REPORTES DE FALLA MEDIANTE MENSAJERÍA SMS EN EL DATA CENTER DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE NORTE”.
AUTOR:	John Jairo Peñañiel Espinoza
FECHA:	20 Julio del 2018
PROGRAMA:	Pregrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación
ASESOR/DIRECTOR:	MSc. Carlos Hernán Pupiales Yépez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de julio de 2018

EL AUTOR:

Firma.....

John Jairo Peñafiel Espinoza

CI: 100389857-2



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y fue desarrollada sin violar los derechos de autor de terceros, por lo tanto, es original y declaro que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, junio del 2018

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "John Jairo Peñafiel Espinoza", is written over a horizontal dotted line.

John Jairo Peñafiel Espinoza

100389857-2

AUTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MAGISTER CARLOS PUPIALES, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICO:

Que, el presente trabajo de titulación “DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA REPORTES DE FALLA MEDIANTE MENSAJERÍA SMS EN EL DATA CENTER DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE NORTE” ha sido realizada en su totalidad por el señor JOHN JAIRO PEÑAFIEL ESPINOZA portadora de la cédula de identidad número: 100389857-2.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

.....
Ing. Carlos Pupiales, M.Sc.
Director de Tesis



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente,

A Dios, quien me dio la fortaleza necesaria para llegar a este punto en mi vida profesional como personal y nunca dejarme decaer en toda esta etapa. A mis padres, hermanos y familiares quienes brindaron su apoyo incondicional.

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 además 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 dedicar su ayuda y sus 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.

John J. Peñafiel



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación está dedicado principalmente:

A Dios, que fue una luz en mi camino que me orientó y me dio coraje en cada momento de mi vida dándome para llegar a esta meta tan anhelada para mí y mi familia. En tus manos dejó mi esperanza.

A mi madre Olga Espinoza por ser el pilar y la fuerza que necesitaba para alcanzar este sueño. Por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi vida estudiantil y haber infundido valores como el respeto, responsabilidad y nunca rendirme en mi vida.

A mis hermanos Franklin, Fernando, Sofía, Katherine, Maycol y Ariel por brindarme de alguna manera su apoyo incondicional.

A mi hijo Dylan que fue mi razón, mi fuerza y mi esperanza para culminar esta etapa de mi vida. Es mi razón de ser teniéndole siempre en mente para nunca decaer en ningún momento siendo así mi fortaleza de ser.

A Gaby por su apoyo absoluto tanto en los buenos y malos momentos. Por todo el tiempo que hemos compartido y brindarme su paciencia, motivación y cariño incondicional.

Me gustaría agradecer a varias personas que llegaron a ser parte de mi vida profesional y brindarme su amistad, consejos y apoyo en los tiempos más difíciles, para ellos que dios les bendiga y muchas gracias.

Con esfuerzo y dedicación este trabajo es por ustedes.

John J. Peñafiel

CONTENIDO GENERAL

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	II
CONSTANCIAS	III
DECLARACIÓN	IV
CERTIFICACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA.....	VII
CONTENIDO GENERAL	1
CONTENIDO DE FIGURAS	6
CONTENIDO DE TABLAS	9
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I.....	13
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Tema de Investigación	13
1.2. Planteamiento del Problema	13
1.3. Objetivos.....	15
1.3.1. Objetivo General.....	15
1.3.2. Objetivos Específicos	15
1.4. Alcance	15
3.1. Justificación	17
CAPÍTULO II.....	19
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Modelo de Referencia.....	19
2.1.1. Parámetros y primitivas de servicio.....	19
2.1.2. Modelo de referencia OSI.....	20
2.1.2.1. Capas del modelo OSI.....	21
2.1.3. Protocolo TCP/IP.....	22
2.1.4. Comparación entre el modelo OSI y TCP/IP	24
2.2. REDES INDUSTRIALES	26
2.2.1. Niveles de comunicación industrial.....	26
2.1.1.1. Nivel 1 – Área Local	26

2.1.1.2.	Nivel 2 – Controladores.....	26
2.1.1.3.	Nivel 3 – Bus de campo.....	26
2.2.2.	Características de los niveles industriales	27
2.3.	Tipos de protocolos para la Comunicación Industrial	28
2.4.	MODELO MODBUS	29
2.4.1.	Introducción a Modbus	29
2.4.2.	Características principales de Modbus	30
2.4.3.	Tipos de protocolo Modbus	31
2.4.3.1.	Modbus RTU	31
2.4.3.1.1.	Trama Modbus y sus campos.....	32
2.4.3.2.	Modbus ASCII.....	32
2.4.4.	Código de la función	33
2.4.5.	Funcionamiento de una red Modbus	34
2.5.	MODBUS sobre TCP/IP.....	36
2.5.1.	Acerca de modbus sobre TCP/IP.....	36
2.5.2.	Encapsulamiento de la ADU	37
2.5.3.	Topología de las redes modbus TCP/IP	37
2.6.	Redes GSM.....	39
2.6.1.	Concepto de red celular	39
2.6.2.	Arquitectura de la red GSM	40
2.6.2.1.	Estructura de la red GSM	41
<input type="checkbox"/>	HLR	42
<input type="checkbox"/>	VLR	42
<input type="checkbox"/>	EIR	43
<input type="checkbox"/>	AUC	43
CAPITULO III	44
3.	DISEÑO DE LA RED PARA EL MONITOREO ELÉCTRICO	44
3.1.	Modelo en V para el desarrollo de sistemas electrónicos	44
3.1.1.	Análisis del Proyecto	45
3.1.2.	Situación actual del sistema eléctrico	45
3.1.2.1.	Características.....	47
3.1.2.1.1.	Acometida eléctrica	47
3.1.2.1.2.	Tablero de distribución del Data Center	47

3.1.2.1.3.	Voltaje de funcionamiento de equipos presentes en el data center	48
3.1.3.	Análisis de Problema a Solucionar	51
□	IEC 61557-12	51
□	DIN EN 61000-4-2:2001	52
□	DIN EN 61000-4-5:2007	52
□	DIN EN 61000-4-11:2005	52
3.1.4.	Perspectiva de la idea del sistema a desarrollar	53
3.1.5.	Requerimientos del sistema	54
3.1.5.1.	Requerimientos funcionales	54
3.1.5.2.	Comparativa del hardware y software	57
3.1.5.2.1.	Hardware del sistema	57
□	Comparativa entre medidores digitales eléctricos	58
□	Comparativa entre hardware de procesamiento	59
□	Comparativa entre módulos GSM	60
□	Comparativa IDE de compilación	61
3.1.5.3.	Elección del medidor de redes eléctricas	62
3.1.5.4.	Elección de la placa programable (Unidad de procesamiento)	63
3.1.5.5.	Elección del módulo GSM	64
3.2.	Diseño del sistema	65
3.2.1.	Diagrama de bloques	66
3.2.2.	Análisis de la etapa 1	67
3.2.2.1.	Medidor Digital Eléctrico	67
3.2.2.1.1.	Características del PAC 3100	68
3.2.2.1.2.	Identificación de pines del PAC 3100	68
3.2.2.1.3.	Alimentación del dispositivo	69
3.2.2.1.4.	Protecciones de conexión	70
3.2.2.1.5.	Características de conexión de voltaje y corriente	71
3.2.2.1.6.	Interfaz RS 485 del PAC 3100	74
3.2.2.2.	Módulo RS485 (circuito integrado sn75176)	74
3.2.2.2.1.	Método físico de transmisión	75
3.2.3.	Análisis de la Etapa 2	76
3.2.3.1.	Arduino MEGA 2560	77

3.2.3.1.1.	Características de funcionalidad.....	78
3.2.3.2.	Proceso de intercambio entre maestro - esclavo.....	78
3.2.3.3.	Librerías de arduino.....	79
3.2.3.4.	Comunicación entre arduino Mega 2560 y shield Ethernet	80
3.2.3.4.1.	Bus de comunicación ICSP	81
3.2.3.4.2.	Funcionamiento del bus SPI.....	82
3.2.3.5.	Comunicación de dispositivos Modbus en una red Ethernet.....	83
3.2.3.5.1.	Shield Ethernet W5100	83
□	Características del Shield Ethernet.....	84
3.2.3.6.	Módulo SIM800L.....	84
3.2.3.6.1.	Características Generales	85
3.2.3.6.2.	Distribución de pines de conexión	86
3.2.3.6.3.	Frecuencias de Trabajo.....	87
3.2.3.6.4.	Proceso de la notificación	87
3.2.3.6.5.	Elección de operadora móvil.....	89
□	Cobertura.....	89
□	Costo de mensajes de texto	91
3.2.3.7.	Fuente de alimentación del sistema.....	92
3.2.3.7.1.	Batería de respaldo	93
3.2.3.7.2.	Circuito regulador para alimentar a la batería de respaldo.....	94
3.2.3.7.3.	Circuito de alimentación regulada.....	97
3.2.3.7.4.	Fuente total del sistema de monitoreo.....	98
3.2.3.8.	Diagrama total de conexión del sistema	100
CAPITULO IV		101
4.	IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS	101
4.1.	Integración y armado de los elementos equipos electrónicos.....	101
4.1.1.1.	Instalación de elementos eléctricos y electrónicos Medidor PAC310	101
4.1.1.2.	Comunicación RS-485.....	107
4.1.1.2.1	Conexión del Max 485 con el arduino.....	108
4.1.1.3.	Lectura de datos del medidor PAC 3100.....	109
□	Monitoreo del tráfico de comunicación.....	119
□	Interpretación de la información	119

4.1.1.3.1. Servidor Web Arduino.....	121
□ HTTP response	122
□ Página Web.....	123
4.1.1.4. Acoplamiento del módulo SIM800L para la comunicación GSM..	124
4.1.1.4.1. Ranura SIM Card	124
4.1.1.4.2. Conexión del módulo GPRS SIM 800L con arduino.....	125
4.1.1.4.3. Prueba de funcionamiento del envío de la notificación SMS .	126
4.1.1.5. Reportes de Fallas	128
4.2. Diagrama total del sistema de monitoreo	132
4.3. Costo del sistema de monitoreo	133
CAPITULO V	135
5.1. CONCLUSIONES	135
5.2. RECOMENDACIONES.....	136
5.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS	137
BIBLIOGRAFÍA	139
ANEXOS	142
ANEXO 1	143
ANEXO 2	151
ANEXO 3	154
ANEXO 4	156
ANEXO 5	158
ANEXO 6	160
ANEXO 7	182
ANEXO 8	183

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de las primitivas.....	20
Figura 2. Capas del modelo OSI.....	21
Figura 3. Capas del protocolo TCP/IP.....	23
Figura 4. Comparativa entre OSI y TCP/IP.....	24
Figura 5. Niveles de las comunicaciones.....	26
Figura 6. Niveles industriales.....	27
Figura 7. Comparativa entre el modelo OSI y el protocolo Modbus.....	29
Figura 8. Proceso de comunicación entre maestro el esclavo.....	30
Figura 9. Secuencia de bits - modo RTU con paridad.....	31
Figura 10. Secuencia de bits - modo RTU sin paridad.....	31
Figura 11. Estructura del mensaje RTU.....	32
Figura 12. Secuencia de bits modo ASCII.....	33
Figura 13. Estructura del mensaje ASCII.....	33
Figura 14. Elementos principales de la Red Modbus.....	35
Figura 15. Representación estándar Modbus sobre IP.....	37
Figura 16. Encapsulamiento de la ADU de Modbus.....	37
Figura 17. Arquitectura Modbus-TCP.....	38
Figura 18. Red celular basada en celdas.....	39
Figura 19. Arquitectura de una red GSM.....	41
Figura 20. Esquema de una BSS.....	41
Figura 21. Esquema del subsistema NSS.....	42
Figura 22. Proceso de desarrollo mediante el Modelo en V.....	44
Figura 23. Distribución General Eléctrica.....	46
Figura 24. Tablero general de distribución eléctrica.....	46
Figura 25. Topología del Sistema Eléctrico.....	48
Figura 26. Sistema general de monitoreo.....	53
Figura 27. Diagrama de bloques del sistema en general.....	66
Figura 28. Arquitectura general del sistema.....	67
Figura 29. Medidor Eléctrico PAC 3100.....	68
Figura 30. Distribución de pines - Parte posterior PAC 3100.....	69
Figura 31. Pines de conexión de alimentación.....	70
Figura 32. Diagrama de conexión entre tablero de distribución y PAC 3100.....	71

Figura 33. Diagrama de conexión de transformadores de corriente.....	73
Figura 34. Diagrama total de conexión eléctrica de PAC 3100	73
Figura 35. Interfaz RS-485 – Distribución de pines.....	74
Figura 36. Diagrama del tranceptor sn75176.....	75
Figura 37. Transmisión de señales	76
Figura 38. Esquema de conexión entre maestro-esclavo.....	76
Figura 39. Diagrama del circuito de conexión entre maestro-esclavo	77
Figura 40. Partes del arduino Mega.....	77
Figura 41. Flujograma del proceso de obtención de información	79
Figura 42. Buses ICSP de comunicación del shield Ethernet y el arduino Mega	80
Figura 43. Montaje para comunicación ICSP.....	81
Figura 44. Distribución de pines del bus ICSP.....	82
Figura 45. Funcionamiento del bus SPI.....	83
Figura 46. Módulo Ethernet W5100.....	84
Figura 47. Módulo GSM/PRS SIM800L.....	85
Figura 48. Esquema de conexión entre Arduino y SIM800L.....	86
Figura 49. Diagrama del circuito de conexión entre Arduino y SIM800L	87
Figura 50. Conexión para la comunicación hacia el usuario	88
Figura 51. Flujograma del envío de SMS mediante comandos AT	88
Figura 52. Mapeo de cobertura de una red 3G de la operadora Movistar	89
Figura 53. Mapeo de cobertura de la operadora Claro.	90
Figura 54. Mapeo de cobertura de la operadora CNT.	90
Figura 55. Diagrama de bloques de la fuente de alimentación energética	94
Figura 56. Circuito regulador para alimentación de batería recargable	97
Figura 57. Circuito de alimentación regulada	98
Figura 58. Fuente total del sistema.....	99
Figura 59. Diagrama total del sistema de monitoreo eléctrico	100
Figura 60. Gabinete eléctrico BEAUCOUP de 400x400x250 [mm]	101
Figura 61. Medidor empotrado en la puerta del gabinete eléctrico BEAUCOUP	102
Figura 62. Conexión de voltajes y corrientes de las líneas eléctricas en PAC 3100....	103
Figura 63. Instalación de transformadores de corriente	103
Figura 64. Colocación de barra de cobre	104
Figura 65. Esquema de conexión de transformador de corriente con PAC 3100.....	104

Figura 66. Sección de protección de las entradas voltimétricas	105
Figura 68. Parametrización y activación de lecturas eléctricas	106
Figura 68. Circuito de fuente de alimentación y regulador de voltaje	106
Figura 69. Conexión del cable cat 3 en la interfaz 485	107
Figura 70. Configuración de parámetros de comunicación	108
Figura 71. Conexión entre el Max 485 y el arduino mega	109
Figura 72. Software powerconfig propietario de Siemens	110
Figura 73. Valores receptados de la lectura de variables eléctricas	110
Figura 74. Registros de magnitudes de medición.....	111
Figura 75. Distribución de bits del método simple IEEE 754.....	113
Figura 76. Conversión de base 16 a base 2	114
Figura 77. Distribución de bits para el formato IEEE 754.....	115
Figura 78. Distribución de bits de la parte exponencial	115
Figura 79. Distribución de bits de la parte exponencial	118
Figura 80. Tráfico de la información.....	119
Figura 81. Variables declaradas para el Servidor Web	121
Figura 82. Estructura de HTTP request	122
Figura 83. Estructura de HTTP response.....	123
Figura 84. Valores receptados por el servidor Web	124
Figura 85. Colocación del chip en la ranura SIM800L	124
Figura 86. Conexión entre arduino y el módulo SIM800L en el gabinete metálico	125
Figura 87. Funcionamiento: PAC 3100 con líneas en 0.....	126
Figura 88. Figura Proceso de verificación para envío de SMS	127
Figura 89. Notificación de SMS	127
Figura 90. Ranura para micro SD.....	128
Figura 91. Código de activación entre W5100 y ranura micro SD	128
Figura 92. Tamaño de dato receptado a la SD.....	129
Figura 93. Tamaño total de almacenamiento	129
Figura 94. Verificación de inicialización de micro SD	130
Figura 95. Verificación de escritura	130
Figura 96. Conexión del módulo RTC 1309	130
Figura 97. Ajuste y chequeo de la hora actual del RTC.....	131
Figura 98. Desarrollo del reporte del sistema eléctrico.....	131
Figura 99. Proceso total del sistema de monitoreo.....	132

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Características generales del protocolo Modbus	30
Tabla 2. Código de funciones	34
Tabla 3. Rangos de funcionamiento de equipos de telecomunicaciones.....	49
Tabla 4. Rangos para generación de las notificaciones	50
Tabla 5. Requerimientos funcionales de medición eléctrica	55
Tabla 6. Requerimientos del hardware de procesamiento	56
Tabla 7. Requerimientos del hardware de procesamiento	56
Tabla 8. Requerimientos generales varios	57
Tabla 9. Comparativa de medidores eléctricos.....	58
Tabla 10. Características del circuito de procesamiento	59
Tabla 11. Características de módulos GSM	60
Tabla 12. Características de módulos GSM	61
Tabla 13. Valoración y elección del medidor de redes eléctricas	62
Tabla 14. Valoración y elección del medidor de redes eléctricas	63
Tabla 15. Valoración y elección del módulo GSM	65
Tabla 16. Características principales del medidor multifuncional PAC 3100	68
Tabla 17. Rotulación de borneras	69
Tabla 18. Tabla Comparativa entre fusible y interruptor	70
Tabla 19. Características principales del medidor multifuncional PAC 3100	72
Tabla 20. Pines de la Interfaz RS 485	74
Tabla 21. Pines del transceptor sn75176	75
Tabla 22. Especificaciones del arduino Mega	78
Tabla 23. Descripción pines del bus SPI	82
Tabla 24. Características del módulo GSM SIM 800L	85
Tabla 25. Especificaciones técnicas del SIM800L.....	86
Tabla 26. Costos unitarios de mensajería de texto	91
Tabla 27. Información de consumo de energía.....	92
Tabla 28. Fórmula para obtener valor del capacitador rectificador.....	95
Tabla 29. Parámetros de configuración del PAC 3100	105
Tabla 30. Pines de la Interfaz RS 485	107
Tabla 31. Ajustes por defecto de la comunicación Modbus RTU.....	108

Tabla 32. Pines de conexión entre Max 485 y arduino	109
Tabla 33. Tabla de registros del voltaje de L1	112
Tabla 34. Tabla de verificación de números de bits utilizados	113
Tabla 35. Tabla de registros del voltaje de L1	116
Tabla 36. Descripción de la petición del maestro enviado al esclavo	119
Tabla 37. Descripción de la petición del maestro enviado al esclavo	120
Tabla 38. Asignación de parámetros de red	121
Tabla 39. Asignación de pines entre SIM800L y arduino	125
Tabla 40. Valores de elementos electrónicos	133
Tabla 41. Valores de elementos electrónicos	133
Tabla 42. Costo total para implementación del sistema	134

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar e implementar un sistema de monitoreo para generar notificaciones de fallas eléctricas para el tablero de distribución eléctrico en el data center de la FICA de la Universidad Técnica del Norte.

Las variables eléctricas tales como el voltaje, corriente y potencia podrán ser monitoreadas en tiempo real por medio de tres maneras: la primera es ir en sitio, es decir directamente desde el medidor digital, la segunda opción es por vía Ethernet a través de una dirección IP establecida y la última opción se basa en utilizar mensajería de texto (SMS) para notificar al usuario final. 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 el proyecto fue necesario utilizar un módulo digital para la lectura de variables eléctrica de baja tensión, un módulo de comunicaciones GSM para el envío de las notificaciones de mensajería SMS al momento de presentar una falla, un microcontrolador Arduino Mega que procesará la información y un socket Ethernet logrando así generar una comunicación con el mundo eléctrico del tablero de distribución y así monitorear en tiempo real el comportamiento eléctrico de la alimentación brindada a los equipos informáticos del centro de datos.

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.

ABSTRACT

The objective of this project is to design and implement a monitoring system to generate notifications of electrical faults for the electrical distribution board in the data center of the FICA of the Technical University from North

The electrical variables such as voltage, current and power can be monitored in real time by means of three ways: the first option is on the site, that is directly from the digital meter, the second option is via Ethernet to through an established IP address and the last option is based on using text messaging (SMS) to notify the end user. The system is designed according to IEC 61557-12 standards and DIN EN 61000-4-2,5,11 which combines behavior, compatibility and use of electrical devices in low voltage distribution systems.

For the project it was necessary to use a digital module for the reading of low voltage electrical variables, a GSM communication module for the sending of SMS messaging notifications at the moment of presenting a fault, an Arduino Mega microcontroller that will process the information and a Ethernet socket thus achieving a communication with the electrical world of the distribution board and thus monitor in real time the electrical behavior of the power supplied to the computer equipment of the data center.

This system can be implemented at low or large scale to monitor variables and electrical states in different locations that is scalable at low price and low complexity.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Tema de Investigación

Diseño de un sistema de monitoreo para la adquisición de datos del sistema eléctrico para reportes de falla mediante mensajería SMS¹ en el data center de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica de Norte.

1.2. Planteamiento del Problema

Actualmente en el campo de la comunicación específicamente en ambientes industriales se ha generado un gran interés por el control y supervisión de estados y procesos de sistemas de emergencia en redes de alimentación energética de edificaciones industriales.

Existe una variedad de empresas que generan un sinnúmero de aplicaciones con un alto nivel de desarrollo sobre este tema, casi la mayoría posee un gran valor económico por lo cual es muy difícil de 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 la distribución de energía eléctrica para el funcionamiento de equipos, dispositivos o máquinas. El funcionamiento deficiente puede generar fallas o en algunos casos si existe un sobre voltaje esto provocaría averías a las máquinas o equipos afectando directamente a la economía de la empresa.

¹ SMS: Short Message Service - Mensaje corto de texto

Es así que uno de los ambientes que se tomará en cuenta es el data center de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte, este sitio no posee ningún método de verificación y/o aviso de fallas en el sistema eléctrico y debería de tenerlo ya que es una parte fundamental de la facultad en donde se encuentran equipos activos de telecomunicaciones y servidores que brindan servicios (datos, CCTV², telefonía IP, etc) además de contener información importante. Si lograra suceder alguna eventualidad de sobre voltaje, corto circuito o suspensión de energía en el sistema eléctrico, esto podría afectar a estos equipos dejándolos fuera de operatividad o incluso perder información si el equipo sufriera daños graves.

Las variaciones de voltaje en una red eléctrica como las interrupciones, caída de tensión (subtensión) o aumento de tensión (sobretensión) pueden afectar drásticamente a los equipos del data center, según (Horsley, 2005) menciona que “el aumento de tensión tiene como resultado parpadeo de luces, degradación de contactos eléctricos, daño a semiconductores en equipos electrónicos y degradación del conductor y aislamiento. Los acondicionadores de línea de suministro, los sistemas UPS³, y los transformadores de control ferroresonante⁴ son soluciones comunes para este tipo de situaciones” (pág. 15).

Si se lograra comprobar, el personal a cargo lograría revisar el problema generado en el sistema eléctrico, este dato ayudaría a verificar si los valores son normales descartando posibles daños en los equipos del data center para su normal operatividad.

Actualmente existen varias herramientas eficientes que permiten monitorear y tener acceso remoto pero no prestan notificaciones instantáneas al usuario como en el caso del proyecto a realizar ya que la verificación de operatividad de equipos y

² **CCTV:** Circuito Cerrado de Televisión

³ **UPS:** Uninterruptible Power Supply - Sistema de alimentación ininterrumpida

⁴ **Ferroresonante:** Fuente de voltaje constituida por un transformador bañado en resina epoxi para permanecer en la intemperie sin daño alguno.

elementos de un sitio que se necesita atender en el menor tiempo es de prioridad para lograr prevenir cualquier tipo de inconveniente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseño de un sistema de monitoreo para el sistema eléctrico basado en el protocolo industrial Modbus para reportes de falla mediante mensajería SMS en el data center de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica de Norte.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar el protocolo de comunicación industrial Modbus y sus diferentes características que posee.
- Establecer parámetros para realizar un esquema de una red compatible entre Modbus y Ethernet.
- Diseñar y construir un sistema de monitoreo basado en una red Modbus que permita notificar anomalías en el sistema eléctrico mediante SMS.
- Implementar en el sitio designado y verificar los resultados obtenidos.

1.4. Alcance

La tecnología bus de campo⁵ es una de las más usadas en los ambientes industriales que utilizan equipos tanto de medición, procesos y sondeo de variables medibles. Estas variables en su gran mayoría manejan señales analógicas como digitales que permite la transmisión de los datos entre si y sus respectivos sistemas de control lo cual le otorga una mayor inmunidad en la manipulación o extracción de su información.

⁵ **Tecnología de bus de campo:** redes digitales bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie que conectan dispositivos de campo como transductores, actuadores, sensores, módulos de E/S.

Esta característica admite la utilización de cualquier medio de transmisión para el transporte de los datos, lo cual es suficientemente útil cuando se desea aumentar la seguridad contra las interferencias electromagnéticas. La ventaja de este tipo de comunicación es que se puede minimizar la utilización de conductores ya que se logra utilizar menos conductores para la conexión de dispositivos de campo.

Se pretende realizar el estudio de un medio industrial que en este caso es poder manipular y tomar información de una acometida eléctrica principal para su posterior uso en la transmisión de datos. Realizando así una comunicación entre el tablero eléctrico del data center de la FICA, lograr sondear variables del sistema eléctrico y poder visualizar esa información mediante una alerta de tipo SMS si existiera alguna anomalía y a su vez poder verificar mediante via Ethernet esos valores en tiempo real. Así con los datos obtenidos se podrá analizar los estados de voltaje de las fases mediante el acceso a esta información y así prevenir daños en los equipos y dispositivos del data center.

Básicamente el proyecto consiste en monitorear al sistema eléctrico del data center de la FICA, notificando mediante un SMS si existe cualquier eventualidad eléctrica y que la persona encargada del sitio logre resolver rápidamente el problema que se suscite. Lo que implicaría que entregaría la información del tablero eléctrico y poder ser alertado al supervisor desde cualquier punto que se encuentre, generando así reportes de estado de estos equipos si se generaran daños.

Se realizará la implementación de este sistema y mediante via Ethernet se podría verificar este sistema desde cualquier parte de la red local del sitio. Esto se llevaría a cabo para poder visualizar y verificar los valores presentes en el instante de generarse cualquier eventualidad que se presentara y así dar una solución al problema suscitado.

Cabe recalcar que si el problema es resuelto mediante el sistema de monitoreo por las alertas generadas, el data center de la FICA tendrá una protección en un sistema muy importante que es el eléctrico y así los equipos presentes en el data center tendrán un sistema que ayude a suprimir fallos y evitar incidentes eléctricos con estos equipos de telecomunicaciones importantes.

3.1. Justificación

La tecnología bus de campo ha logrado transformarse en una opción para las industrias, esto se debe a sus características de costo bajo, se puede trabajar con mínimas necesidades referente a los componentes de software y hardware, su facilidad de uso y sobre todo es un protocolo abierto.

La conexión de Modbus sobre Ethernet se establece a nivel de aplicación, esta conexión puede ser única que consigue varias transacciones independientes. Posee varias ventajas entre las cuales son:

- Es simple para administrar y expandir.
- No es necesario equipo o software propietario de una marca en específico.
- Puede ser usado para comunicarse con varios equipos en una misma red de dispositivo Modbus.

El progresivo aumento de la tendencia en mejorar los sistemas de control, gestión y monitorización y por ende a sus procesos de la mejor manera, nace la necesidad de ejecutar un estudio más detallado de los diferentes protocolos de comunicación industrial que consiguen ser utilizados. Uno de estos protocolos de comunicación industrial es Modbus, ya que gracias a sus características es actualmente el más usado en las redes industriales y en la utilización de módulos supervisores para los sistemas de control permitiendo la transmisión de datos en el sistema maestro/esclavo.

La parte práctica corresponde a la implementación de un sistema de monitoreo en el data center de la FICA. El proyecto básicamente es necesario ya que en los últimos meses se han presentado cortes eléctricos con un tiempo mayor a 1 hora en horario nocturno y gracias a esto se podría saber si el data center ha sufrido algún tipo de anomalía eléctrica (cortes eléctricos) y así inmediatamente revisar los equipos de telecomunicaciones si han sufrido algún tipo de daño tanto físico como lógico.

Con estas notificaciones se podría evitar daños eléctricos en los diferentes equipos electrónicos ya que sería muy costoso su reemplazo. Esto se debe a que la facultad posee servicios de datos, CCTV, información, cloud con diferentes proyectos, etc. Lo cual si sufre alguna interrupción energética de larga duración y si el UPS no abasteciera en este tiempo, los equipos y servicios dejarían de funcionar.

En el proyecto se empleó diferentes conocimientos que fueron adquiridos en toda la formación académica, admitiendo que el problema propuesto sea solucionado, logrando el proceso y desarrollo propuesto del diseño sin dificultades.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Modelo de Referencia

En ingeniería, al Modelo de Referencia se lo puede definir como un modelo de algo que sujeta a una idea básica u objetivo que deben conllevar una serie de pasos consecutivos de alguna cosa y se la puede constituir como una referencia para diversos propósitos de comunicación (Saffirio, 2010). Existen 2 tipos de arquitecturas que son básicas y determinantes en el desarrollo y manejo de los estándares para las comunicaciones: el modelo de referencia OSI⁶ y el protocolo de comunicación TCP/IP.

TCP/IP es la arquitectura más usada con respecto a OSI, ya que OSI es conocida más para su estudio y comportamiento ya que nunca llegó a alcanzar lo propuesto. (Tanenbaum, 2003)

2.1.1. Parámetros y primitivas de servicio

En el modelo OSI, los servicios que se forman entre las capas adyacentes se las conoce como primitivas⁷ (Stalling, 2004). A una primitiva se la puede especificar como una función que se va a realizar y los parámetros son usados para poder lograr enviar la información y los datos de control, esto se lo puede visualizar en la figura 1. Según (Stalling, 2004), un ejemplo es una llamada a un procedimiento lo cual utiliza los parámetros de las primitivas para poder realizar la comunicación:

- a. Solicitud.- primitiva enviada por el usuario para poder solicitar algún tipo de servicio.
- b. Indicación.- primitiva enviada por el proveedor que está proporcionando el servicio, este le comunica la acción iniciada del servicio al usuario.

⁶ **OSI:** Open System Interconnection - Interconexión de Sistemas Abiertos.- Red de arquitectura en capas.

⁷ **Primitiva:** Acciones de petición que realiza tanto un usuario como un proveedor de algún servicio.

- c. Respuesta.- primitiva que especifica la confirmación del servicio, esta es emitida por el usuario.
- d. Confirmación.- primitiva enviada por el proveedor que está brindando el servicio, esta primitiva sirve para la confirmación de algún procedimiento que ha sido involucrado previamente a una solicitud de parte del usuario que solicito.

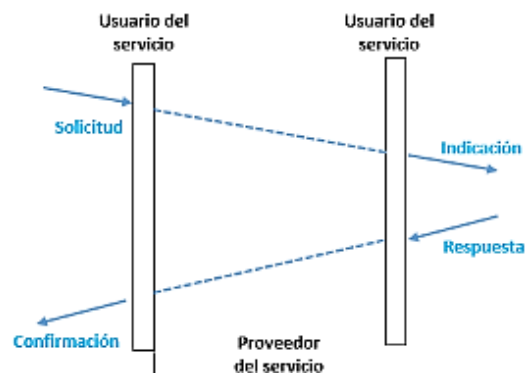


Figura 1. Proceso de las primitivas
Fuente: (Saffirio, 2010)

2.1.2. Modelo de referencia OSI

El modelo de referencia OSI fue establecido en una propuesta desarrollada por ISO⁸ como un paso para establecer la estandarización internacional de protocolos manejados en las varias capas que posee. Este modelo se lo conoce como OSI perteneciente a ISO, esto se refiere a la conexión de sistemas abiertos sin ninguna restricción, es decir, que los sistemas abiertos pueden comunicarse con otros sistemas sin ningún problema.

El modelo de referencia OSI posee 7 capas o niveles como se presenta en la figura 2 con los que trabaja, según (Tanenbaum, 2003), los principios para llegar a la capa específica son:

- a. Una capa debe de cumplir con una función específica y definida.
- b. Una capa se debe crear donde se necesite una función diferente.

⁸ ISO: International Organization for Standardization - Organización Internacional de Estándares.

- c. La función de cada capa se debe elegir con la intención de definir protocolos estandarizados internacionalmente.
- d. Los límites de las capas se deben elegir a fin de minimizar el flujo de información a través de las interfaces.

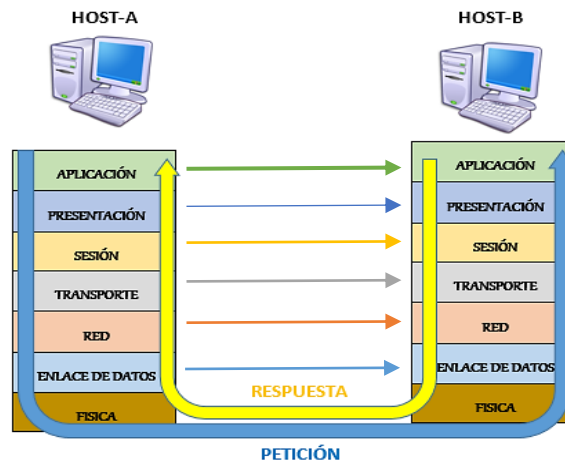


Figura 2. Capas del modelo OSI
Fuente: El Autor

El modelo OSI es desarrollado con un proceso de pila, es decir que los componentes del software son aislados por varios niveles. Cada nivel es de manera independiente del resto y cada uno cumple con una función determinada.

2.1.2.1. Capas del modelo OSI

- La capa FÍSICA es la delegada de la transmisión binaria, es decir que se encargada de la velocidad de datos, la transmisión de información como niveles de voltaje por un medio físico específicamente el cable.
- Capa ENLACE DE DATOS se encarga del acceso al medio para lograr proporcionar la facilidad del envío de datos entre las dos estaciones, además de contralar el acceso al medio y las posibles fallas en el proceso de la transmisión.
- La capa de RED posee el direccionamiento IP del dispositivo y la mejor ruta para el enrutamiento de los paquetes.

- La capa TRANSPORTE es la encargada de realizar la conexión de extremo a extremo para establecer la comunicación.
- La capa SESIÓN se encarga de la comunicación entre los hosts es decir que establece una sesión para los usuarios que están participando en la comunicación.
- La capa PRESENTACIÓN como su nombre se lo indica, se encarga de la presentación de los datos que le llega al receptor.
- Y por último la capa APLICACIÓN se encarga de los procesos de red a aplicaciones que el usuario esta accedendo en los host.

2.1.3. Protocolo TCP/IP

El protocolo de comunicación TCP/IP⁹ fue el resultado del desarrollo e investigación que fueron llevados a cabo en la red experimental de conmutación de paquetes conocido como ARPANET¹⁰ (Gallegos, 2005), esta era financiada por DARPA¹¹ y fue denominada globalmente como el grupo de protocolos TCP/IP. Este grupo consiste en una amplia recopilación de protocolos que se han especificado como estándares de Internet por parte de IAB¹².

En el protocolo de comunicación TCP/IP no existe los niveles de sesión ni el de presentación ya que en realidad estos dos niveles son muy poco utilizados en la arquitectura OSI. Así que TCP/IP solo posee 4 niveles en su arquitectura, la capa física, la capa internet, la capa transporte y finaliza con la capa aplicación como se muestra en la figura 3.

⁹ **TCP/IP:** Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet -sirve para enlazar computadoras que utilizan diferentes sistemas operativos.

¹⁰ **ARPANET:** Advanced Research Projects Agency Network-Red de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada.

¹¹ **DARPA:** Agencia del Departamento de Defensa de EEUU responsable del desarrollo de nuevas tecnologías para uso militar.

¹² **IAB:** Internet Architecture Board - Comité Independiente de Investigadores.



Figura 3. Capas del protocolo TCP/IP
Fuente: (Tommaso, 2009)

La capa de acceso a la red se encarga del intercambio de datos entre los dispositivos finales, el PDU¹³ que utiliza esta capa son las tramas, aquí el paquete IP realiza el proceso de encapsulamiento en una trama la cual posee la información de la dirección física (dirección MAC¹⁴).

La capa transporte garantiza la secuencia de envío de los paquetes y sin errores, al lograr intercambiar en la recepción la confirmación de los datos y notificará que se realice una retransmisión de paquetes perdidos si los hubiera. Según la página de Oracle (2010) dice, “los protocolos usados en este nivel son: el protocolo de control de transmisión (TCP), el protocolo de datagramas de usuario (UDP¹⁵) y el Protocolo de transmisión para el control de flujo (SCTP). Los protocolos TCP y SCTP¹⁶ proveen un servicio fiable y completo”. El Protocolo UDP proporciona un servicio de datagrama poco fiable y no confirma cuando el dato ha sido recibido. Esta capa utiliza el PDU llamado segmento, en el encapsulamiento a los segmentos TCP se les otorga una etiqueta que posee el proceso el cual debe ser ejecutado, adicionalmente la información para poder ensamblar.

La capa aplicación específica las aplicaciones de la red y los servicios de Internet estándar que puede utilizar un usuario. Estos servicios utilizan la capa de transporte para

¹³ **PDU:** Unidad de datos de protocolo, se la utiliza para lograr realizar el intercambio de datos entre las unidades disparejas.

¹⁴ **MAC:** Media Access Control - se refiere al control de acceso al medio físico.

¹⁵ **UDP:** Protocolo de datagramas de usuario - estándar TCP/IP, se lo utiliza para el transporte de datos. rápido, compacto y no confiable entre hosts TCP/IP.

¹⁶ **SCTP:** Stream Transmission Control Protocol - protocolo orientado a las conexiones.

enviar y recibir datos. El PDU que utiliza esta capa son los datos, trabaja en donde se ha recibido un mensaje y se entrega en su formato para que ya el usuario pueda ver esta información de manera clara y concisa.

2.1.4. Comparación entre el modelo OSI y TCP/IP

El modelo de referencia OSI y la arquitectura TCP/IP tiene varias cosas en común. El concepto en el que se han basado estas dos arquitecturas es en una pila de protocolos con procesos totalmente independientes. Y a su vez la función de cada capa que posee cada una de ellas es muy parecida.

Una de las similitudes es que estas dos arquitecturas poseen a la capa de transporte (fig. 4), esa capa proporciona el servicio de transporte de la información de un extremo al otro extremo, esto independientemente de los procesos que se espera comunicar. Esta capa logra formar el canal de comunicación entre los extremos.

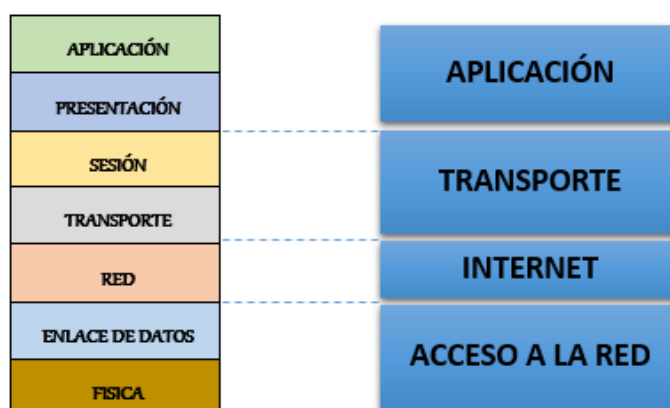


Figura 4. Comparativa entre OSI y TCP/IP

Fuente: El Autor

De nuevo, en ambas arquitecturas, las capas que están arriba de la capa de transporte son usuarias que están orientadas a la aplicación del servicio de transporte (Ruiz, 2002). A pesar de las semejanzas que presenta, estas arquitecturas poseen algunas diferencias también. El modelo OSI presenta tres conceptos básicos:

- a. Servicios.
- b. Interfaces.

c. Protocolos.

Posiblemente el aporte más destacado que pudo brindar el modelo OSI es que hace una descripción muy evidente entre los tres conceptos mencionados. Cada una de las capas desempeña servicios para la capa superior. El concepto de servicio especifica lo que debe hacer cada capa y no le interesa ni la forma de acceso de la capa de nivel superior ni cómo está trabajando dicha capa. Es decir que define el aspecto de la funcionalidad de cada capa.

Originalmente, TCP/IP no diferencia entre los conceptos de servicio, interfaz y protocolo como lo hace OSI, aunque han realizado procedimientos para poder readaptarlo con la finalidad asimilarlo al modelo OSI.

La capa de Red del modelo OSI soporta las comunicaciones tanto orientadas y no orientadas a conexión, mientras que la capa Transporte puede solo asociar la comunicación orientada a conexión. En cambio, TCP/IP solo posee un solo modo en la capa Red que es la no orientado a conexión, mientras que trabaja en ambos modos en la capa Transporte ya que solo es utilizado para protocolos simple de requerimiento-respuesta.

La arquitectura TCP/IP se la puede sustituir fácilmente conforme cambie la tecnología. La facilidad para lograr realizar estos cambios es que los protocolos ya están definidos en cada capa y este es uno de los objetivos principales de TCP/IP. Es por eso que el modelo de referencia OSI comprendió antes de que se inventaran los protocolos correspondientes (BusWork, 2005).

2.2. REDES INDUSTRIALES

2.2.1. Niveles de comunicación industrial

En el mundo actual, el sector industrial ha comenzado a ampliar sus comunicaciones para facilitar la transmisión de datos en una red de datos. Se ha facilitado todo el proceso en pocos niveles de comunicación industrial como se muestra en la figura 5:



Figura 5. Niveles de las comunicaciones
Fuente: (López V. V., 2007)

2.1.1.1. Nivel 1 – Área Local

En la figura 6 se puede observar el primer nivel denominado área local, es quien proporciona información sobre la red o redes locales que provee las órdenes de producción a los niveles situados debajo de esta.

2.1.1.2. Nivel 2 – Controladores

En la parte intermedia se encuentra el nivel en donde se localizan los controladores, es decir que aquí es donde se opera los diferentes sistemas como autómatas, de control, de monitoreo, de supervisión, los SCADA¹⁷ entre otros.

2.1.1.3. Nivel 3 – Bus de campo

Según en el documento de publicación PROFIBUS, Process Field Bus (s.f.) dice que *“en el nivel inferior se localiza el nivel de campo donde se localizan los actuadores, sensores y controladores del sistema, siendo el principal soporte de comunicación el bus de campo.”*

¹⁷ SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)

Apreciando los diferentes niveles anteriormente determinados se observar la comunicación entre sí, aunque en cada uno de los niveles se implementa distintos recursos para la comunicación.

2.2.2. Características de los niveles industriales

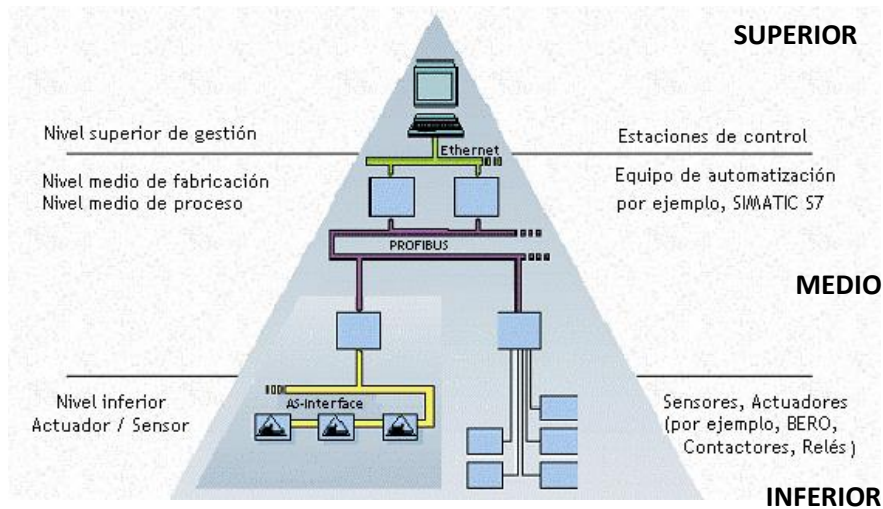


Figura 6. Niveles industriales
Fuente: (López V. V., 2007)

En el nivel superior, el soporte de comunicación suelen ser redes de ordenadores formando una red local, en el mismo edificio, entre distintos edificios e incluso utilizando internet. Según Process Field Bus (s.f.) *“Las redes locales se han diseñado para los niveles de información y de controladores. En estas redes se pueden integrar autómatas programables mediante tarjetas Ethernet y fibra óptica, módems. En este nivel se integran protocolos como el conocido TCP/IP”*.

En un medio de comunicación bus los dispositivos se puede tener una clasificación entre quienes serán esclavos y cuales estarán trabajando como maestros. Regularmente los maestros están a cargo de conservar el protocolo y funcionamiento para su correcta comunicación, además de lograr transportar ordenes que son enviados desde los maestros que están en las capas más altas hasta los niveles inferiores que son sensores.

Mientras que los esclavos son exclusivamente los sensores, controladores y actuadores, estos prácticamente tienen la labor de transmitir información de petición al

maestro y lograr ejecutar la acción requerida, todo este proceso se desarrolla en el nivel inferior.

2.3. Tipos de protocolos para la Comunicación Industrial

Actualmente 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. La gran aceptación que posee en el mercado es por ser un protocolo libre y de fácil entendimiento. Los protocolos permiten la posibilidad de integrar diferentes dispositivos tecnológicos libremente de la marca o fabricante que lo produzcan, la mayoría de estos trabajan a nivel de bus de campo entre los cuales se tiene:

- Profibus: Se trata de un estándar de red independiente y abierta de cualquier fabricante con marcas industriales. Cuenta con una amplia adaptación a procesos, automatización y control de dispositivos industriales situados en el nivel bus de campo.
- Modbus: Modbus fue desarrollado en 1979 por Modicon Incorporated, está ubicado en la capa 7 del modelo OSI, este protocolo posee un modo de comunicación determinado maestro/esclavo para el control de dispositivos situados en el nivel de bus de campo.
- Interbus: es un sistema de bus de campo, este protocolo industrial es abierto por la marca Phoenix Company. Posee una arquitectura de comunicación entre maestro y esclavo. Se encarga de la comunicación de enlazar conectividad entre diferentes dispositivos industriales como actuadores, sensores, PLC, entre otros.
- Fieldbus: Fue desarrollado por diferentes fabricantes industriales como Foxboro y FisherRosemount. Es un protocolo de bus situado para la comunicación y conexión entre instrumentación industrial con un proceso continuo en tiempo real.

- ASI¹⁸: Este protocolo se encarga de las conexiones binarias, es más usado en acciones para definir la petición que le pide a los sensores, actuadores, etc.

2.4. MODELO MODBUS

2.4.1. Introducción a Modbus

El protocolo Modbus fue desarrollado en 1979 por Modicon Incorporated, 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 se encuentra ubicado en la capa 7 del modelo OSI.

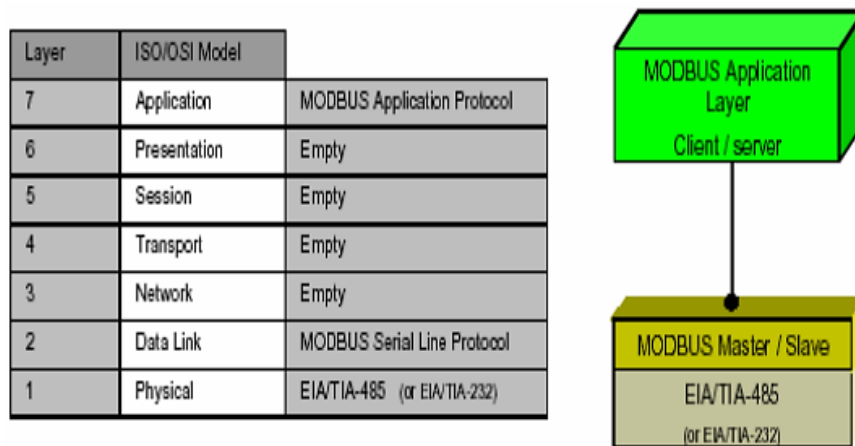


Figura 7. Comparativa entre el modelo OSI y el protocolo Modbus
Fuente: (Holly T., 2006).

El proceso de solicitud/respuesta utiliza una relación entre maestro/esclavo como se muestra en la figura 7. 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.

Por lo general, un sistema SCADA¹⁹ o interfaz humano-maquina (HMI) llegan a representar al maestro, mientras que el esclavo puede llegar a ser un sensor, controlador

¹⁸ **ASI**: AS-Interface (Actuator sensor Interface)

¹⁹ **SCADA**: Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) - software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.

de automatización programable (PAC) o un controlador lógico programable (PLC) como se parecía en la figura 8 (Instruments, 2014).

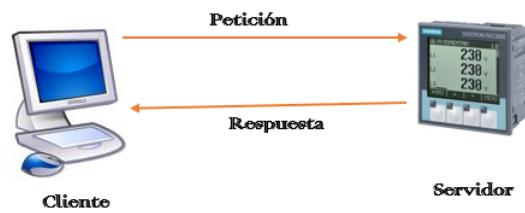


Figura 8. Proceso de comunicación entre maestro el esclavo
Fuente: El Autor

Este protocolo puede soportar redes industriales y redes estándar. En la actualidad se implementa en:

- Redes con Modbus sobre Ethernet.
- Para la transmisión en serie asíncrona sobre diferentes medios de transmisión (cable, fibra, radio, etc.).
- Y modbus plus que trata de una red con gran velocidad.

2.4.2. Características principales de Modbus

Tabla 1.

Características generales del protocolo Modbus

CARACTERÍSTICAS DEL PROTOCOLO INDUSTRIAL MODBUS		
Características		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solo existe un maestro en una red al mismo tiempo. ▪ Pueden existir varios esclavos con un límite de 247. ▪ Los esclavos nunca transmiten si el maestro no lo solicita. ▪ Los esclavos no se pueden comunicar entre ellos. ▪ Los esclavos pueden estar conectados en el mismo campo de bus.
Modos de petición	Unicast	Un maestro se comunica con un solo esclavo. El maestro envía una petición al esclavo, lo recibe y procesa la petición y devuelve un mensaje al maestro. Una tx consta de 2 mensajes: una petición del maestro y una respuesta del esclavo.
	Broadcast	Un maestro envía una petición a todos los esclavos al mismo tiempo. Los esclavos no devuelven ninguna respuesta a las solicitudes de tx que envía el maestro. Los esclavos no se comunican directamente entre sí.
Interfaz	Medio Físico	Semidúplex (half dúplex) (RS485 o fibra óptica)
		Dúplex (full duplex) (RS-422, BC 0-20mA o fibra óptica)

Distancia	La máxima distancia que puede llegar es de 1200 mtrs si usar repetidores.
Velocidades de transmisión	La comunicación es asíncrona y las velocidades de transmisión previstas van desde los 75 baudios a 19.200 baudios.
Acceso al Medio	El modo de comunicación es de tipo maestro-esclavo, el esclavo posee una dirección única para poder comunicarse con el maestro

Características detalladas de forma general del protocolo Modbus. Fuente: Fernando Pascual – Moisés Pérez, (2013).

2.4.3. Tipos de protocolo Modbus

Modbus posee dos diferentes tipos de representación numérica de datos y desigualdades en la estructura del protocolo. Modbus RTU²⁰ es una representación binaria compacta de los datos. Modbus ASCII²¹ es una representación legible del protocolo pero menos eficiente (Torres, 2007).

2.4.3.1. Modbus RTU

En la comunicación RTU, cada carácter transmitido va acompañado de 1 bit de comienzo, ocho bits de datos, 1 de paridad²² y 1 de parada como se muestra en la figura 9, si la secuencia de bit no presenta paridad se establecería 2 bits de parada como se muestra en la figura 10. De este modo, para poder enviar un byte de información debe de seguir la secuencia siguiente:

Start	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	Paridad	Stop
1 bit de comienzo	8 bits de datos								1 bit paridad	1 bit parada

Figura 9. Secuencia de bits - modo RTU con paridad

Fuente: Manual WEG (2015). Manual de Usuario – Modbus RTU

Start	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	stop	Stop
1 bit de comienzo	8 bits de datos								2 bits de parada	

Figura 10. Secuencia de bits - modo RTU sin paridad

Fuente: WEG (2015). Manual de Usuario – Modbus RTU

²⁰ **RTU:** Remote Terminal Unit - Unidad terminal Remota.

²¹ **ASCII:** American Standard Code for Information Interchange - Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información.

²² **Paridad:** Indica si el número de bits con un valor de 1 en un conjunto de bits es par o impar.

2.4.3.1.1. Trama Modbus y sus campos

Cada uno de ellos posee un valor fijo y solo el contenido de los datos posee tamaño variable como se aprecia en la figura 11. Los campos se detallarán a continuación:

Dirección	Código de la función	Datos	CRC
1 byte	1 byte	0-252 byte(s)	2 bytes

Figura 11. Estructura del mensaje RTU

Fuente: Siemens AG (2009)

- **Dirección.-** Tamaño de 1 byte, en este byte se establece la dirección del esclavo con el que quiere establecer comunicación.
- **Código de la función.-** El maestro especifica qué tipo de función se le solicitará al esclavo, la función puede ser lectura, escritura o escritura/lectura. Este campo posee un solo byte.
- **Datos.-** El tamaño de este campo es variable. Es la información que se desea transmitirse, este depende del código de función que se ha seleccionado.
- **CRC²³.**- Este campo es importante ya que se utiliza para el chequeo de errores en la transmisión. Según (Siemens A. , Power Monitoring Device SENTRON PAC3100, 2009) argumenta que *“la comprobación de redundancia cíclica comprueba el flujo de datos. Este consta de 2 bytes, el LSB²⁴ y un MSB²⁵. El dispositivo de transmisión calcula la CRC y lo anexa al mensaje.”* La recepción dispositivo calcula el CRC de nuevo y compara el valor calculado de nuevo con la recibida CRC. Si los dos valores no coinciden, se ha producido un error.

2.4.3.2. Modbus ASCII

En la comunicación ASCII, este método se maneja cuando las capacidades de los elementos no admiten la comunicación mediante el proceso RTU. Pero este modo tiene

²³ **CRC:** Comprobación de redundancia cíclica.

²⁴ **LSB:** Least Significant Bit – Bit menos significativo.

²⁵ **MSB:** Most Significant Bit – Bit más significativo.

una desventaja ya que no es eficaz en comparación al modo RTU, esto se debe a que cada byte del modo ASCII necesita de 2 caracteres, es decir que se transmiten 2 mensajes de 10 bits, los cuales el tamaño del campo de datos viene a representar los 7 bits (ver figura 12), que a su vez por él envió de 2 mensajes daría un total de 14 caracteres.

Start	1	2	3	4	5	6	7	Paridad	Stop
1 bit de comienzo	7 bits de datos							1 bit paridad	1 bit parada

Figura 12. Secuencia de bits modo ASCII

Fuente: WEG (2015). Manual de Usuario – Modbus RTU.

Para garantizar la compatibilidad de la aplicación Modbus entre el modo ASCII y el modo RTU, como se puede ver en la figura 13 la máxima longitud de estructura de los datos para ASCII es (2x252), que corresponde al doble de la longitud requerida en el modo RTU (252) (Castro, 2007). En síntesis se podría mencionar que la longitud máxima de la estructura Modbus ASCII es de 513 caracteres.

Start	Dirección	Función	Datos	LCR	End
1 char	2 char	2 char	0 – 2x252	2 char	2 char

Figura 13. Estructura del mensaje ASCII

Fuente: WEG (2015). Manual de Usuario – Modbus RTU.

El formato ASCII tiende a utilizar una suma de control de redundancia longitudinal (LCR) para la información que trasmite así que no es necesario la paridad.

2.4.4. Código de la función

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 2 se identifican algunos código de función con los que trabaja el protocolo Modbus. Si se produce un error, el bit MSB que se encuentra en la trama de respuesta específicamente en el campo “Código de función” dará un aviso de este error.

Tabla 2.

Código de funciones

Código de función	Descripción de la función	Tipo de dato		Acceso
02	Leer entradas discretas	Bit	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

Códigos utilizados en los dispositivos de medición para la lectura y escritura de información de los esclavos hacia el maestro.

Con estos códigos de funciones, al momento de enviar una petición al esclavo, se deberá especificar la acción que se desea ejecutar y esto será insertado en el campo “código de función” de la trama Modbus. Una vez enviado el mensaje, el receptor verificará la acción establecida, es decir, si va a realizar una lectura o escritura de registros.

2.4.5. Funcionamiento de una red Modbus

El funcionamiento de este protocolo es simple, el maestro envía peticiones y los esclavos envían sus respuestas o actúan en función de lo que este diga. Los dispositivos con protocolo Modbus se pueden comunicar mediante un maestro-esclavo (cliente/servidor) técnica en la que sólo un dispositivo maestro puede iniciar con las transacciones denominadas consultas.

Los otros dispositivos esclavos logran responder mediante el envío de los datos solicitados al maestro o tomando la tarea solicitada en la consulta. Un esclavo es cualquier dispositivo de E/S (corriente, voltaje, válvula, unidad de red, u otro dispositivo de medición) que logra procesar esa información y envía la información al dispositivo maestro usando el protocolo Modbus, todo este proceso se lo visualiza en la figura 14.

Los dispositivos de E/S de forma esclavo/servidor son básicamente analógicas, mientras que un dispositivo maestro típico es una el anfitrión de software de aplicación adecuado para monitorear su funcionamiento.

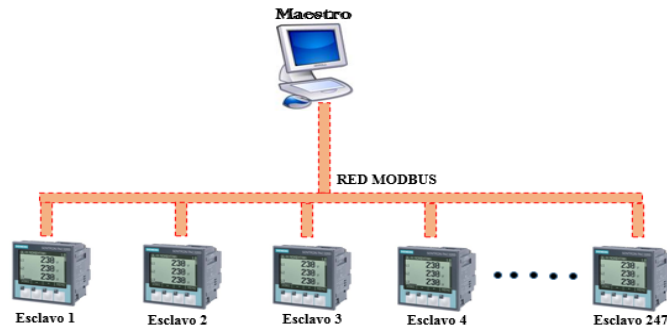


Figura 14. Elementos principales de la Red Modbus

Fuente: El Autor

En una red Modbus es posible establecer un maestro y varios dispositivos esclavos (ver figura 14), se puede albergar un máximo de 247 dispositivos (lo cual dependerá del tipo de comunicación).

La consulta de un maestro consiste en una dirección de esclavo (o la dirección de difusión), un código de función que define la acción solicitada, todos los datos necesarios, y un campo de comprobación de error. La respuesta de un esclavo se compone de campos que confirman la petición que se le solicitó, los datos que se esperan obtener del esclavo y una comprobación de error para la verificación de la recepción del dato.

Tenga en cuenta que la consulta y la respuesta incluyen una dirección de dispositivo, un código de función, además de datos aplicables, y un campo de comprobación de errores. Si no se produce errores, el esclavo contendrá la respuesta que ha solicitado (Instruments, 2014).

Si se produce un error en la consulta recibida del esclavo, o si este no es capaz de realizar la acción solicitada, el esclavo devolverá un mensaje de excepción como su respuesta. Modbus tradicional transmiten los mensajes en serie y la comprobación de paridad también se aplica a cada carácter transmitido en su trama de datos.

En este punto, es importante hacer la distinción ya que define las normas para la organización y la interpretación de los datos en una aplicación con protocolo Modbus, pero sigue siendo simplemente una estructura de mensajes, independiente de la subyacente²⁶ capa física (Castro, 2007).

2.5. MODBUS sobre TCP/IP

2.5.1. Acerca de 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. TCP/IP se refiere al Protocolo de Control de Transmisión y Protocolo de Internet, que proporciona el medio de transmisión a los de mensajes que utilizan Modbus TCP/IP.

En pocas palabras, TCP/IP usa bloques de datos binarios que se intercambiará entre dispositivos. La función principal de TCP es que todos los paquetes de datos se reciben correctamente, mientras que IP se asegura de que los mensajes sean recibidos de manera correcta. Tenga en cuenta que TCP/IP no es más que un protocolo de transporte, y no define lo que el dato significa o cómo los datos se han de interpretar ya que este es el trabajo del protocolo de aplicación, Modbus en este caso.

Modbus sobre IP combina una red física con una creación de red estándar (TCP / IP) y un método estándar de representación de datos (Modbus como el protocolo de aplicación). En otras palabras el mensaje tipo Modbus no es más que una comunicación Modbus que se encuentra encapsulado en una trama Ethernet como se aprecia en la figura 15.

²⁶ **Subyacente.**- se vincula a permanecer oculto o debajo de alguna cosa.

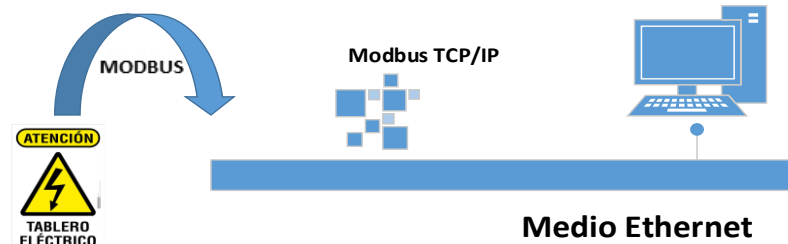


Figura 15. Representación estándar Modbus sobre IP
Fuente: El autor

2.5.2. Encapsulamiento de la ADU

En la figura 16 se muestra la unidad de datos de aplicación Modbus sobre IP completa, esta se inserta en el campo de datos de una trama TCP estándar y se envía a través de TCP con el sistema ya conocido para la comunicación, que está reservado específicamente para aplicaciones Modbus.

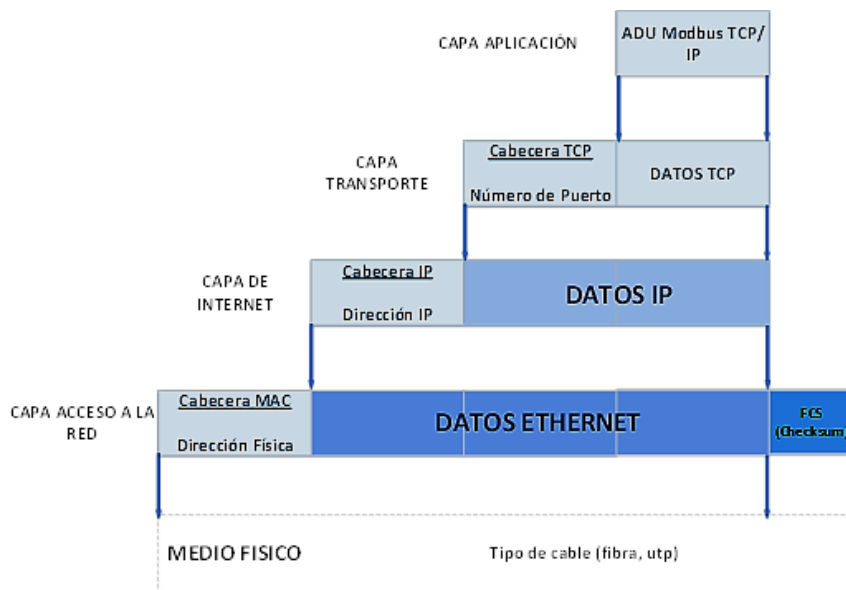


Figura 16. Encapsulamiento de la ADU de Modbus
Fuente: Lorenzo Figueroa Venegas, (2015)

2.5.3. Topología de las redes modbus TCP/IP

Ya que la arquitectura MODBUS TCP/IP es básicamente el protocolo MODBUS con el proceso de encapsulado en TCP, esto conlleva a la simplicidad de comunicar equipos MODBUS existentes este puede ser sobre el mismo protocolo o por medio de MODBUS sobre TCP/IP.

Para lo cual se necesita un dispositivo o software que logre trabajar como pasarela o gateway para que pueda convertir el protocolo MODBUS a MODBUS sobre TCP/IP. Lo que realizan estas pasarelas es un proceso sencillo ya que captura la información Modbus y posteriormente es añadido campos para lograr crear una trama Ethernet pero con información de tipo Modbus, en la figura 17 se detalla de manera general a una red modbus compatible con una red TCP/IP.

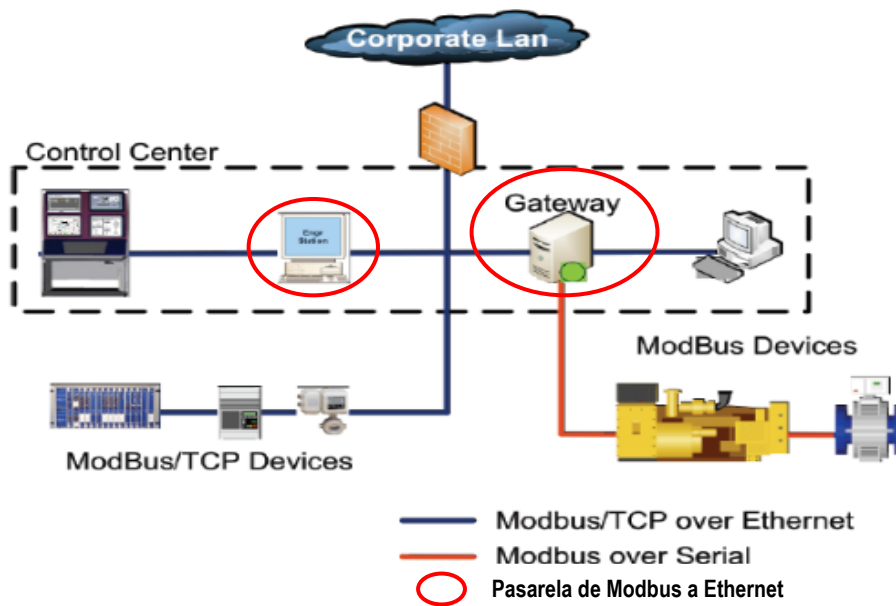


Figura 17. Arquitectura Modbus-TCP
Fuente: Antonio Javier Barragan, (2013)

El equipo con protocolo Modbus no puede establecer una comunicación con una red Ethernet y mucho menos se puede interactuar con este, para poder establecer una conexión con un equipo en una red Ethernet se necesita una dirección IP cosa que un equipo Modbus no la puede establecer, lo único que poseen para su identificación en una red es un campo llamado dirección o ID del dispositivo.

Entonces ahí es donde entra a trabajar estas pasarelas ya que le dan una dirección IP para que puedan ser reconocidas en este tipo de redes, 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.

2.6. Redes GSM

A inicios del siglo XXI comenzó una tendencia y avance tecnológico por la telefonía móvil mediante redes GSM²⁷. Las comunicaciones dieron giro en el tema de la tecnología ya que se produjo un sistema completamente digital, a esto se lo conocía como 2G (segunda generación).

En todo Europa las bandas de frecuencia que utilizan son de 900 MHz y 1800 MHz. Mientras que en EEUU la banda de frecuencia que utiliza es de los 1900 MHz. Es por ende que la mayoría de los teléfonos funcionan en las 3 bandas, a estos se los denomina tribanda y aquellos que solo funcionan en las 2 bandas se las denomina bibanda.

El estándar GSM permite un rendimiento máximo de 9,6 kbps, que permite transmisiones de voz y de datos digitales de volumen bajo, por ejemplo, mensajes de texto (SMS, Servicio de mensajes cortos) o mensajes multimedia (MMS, Servicio de mensajes multimedia) (López, 2017).

2.6.1. Concepto de red celular

La telefonía móvil tiene un concepto basado en celdas, esto quiere decir que son etapas que cubren una cierta área geográfica como lo indica la gráfica 18:

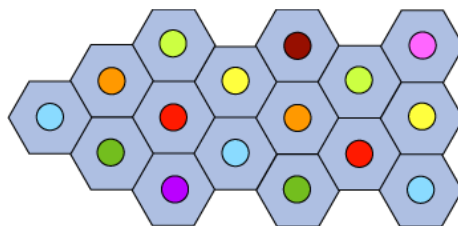


Figura 18. Red celular basada en celdas
Fuente: Andrés López, (2017)

Están basadas en la utilización de transmisor-receptor para cada una de las celdas, estas son denominadas como estación base (BTS²⁸).

²⁷ **GSM:** Global System for Mobile communications - sistema global para las comunicaciones móvil.

²⁸ **BTS:** Base Transceiver Station - Estación base transceptora

Cuanto menor sea el radio de una celda, mayor será el ancho de banda disponible. Por lo tanto, en etapas urbanas muy pobladas, hay celdas con un radio de unos cientos de metros mientras que en etapas rurales hay celdas enormes de hasta 30 kilómetros que proporcionan cobertura (Brown, 2015).

Unas de las características importantes es que las celdas adyacentes deben funcionar a diferente frecuencia para no interferir con otras que están a su alrededor. En el caso de que una o más celdas posean una misma frecuencia, estas tendrán que estar separadas a una distancia entre 2 o 3 veces el diámetro de una celda.

2.6.2. Arquitectura de la red GSM

Un terminal de usuario es conocido como una estación móvil en una red móvil. Esta estación está compuesta por una tarjeta comúnmente conocida como SIM²⁹, mediante esta tarjeta el usuario es identificado de manera única ya que no se repiten de ninguna manera el número de esta SIM.

Además los dispositivos también son identificados ya que poseen un único número que los caracteriza, esto son más conocidos como el IMEI³⁰ que está representado por una serie de 15 dígitos únicos para cada dispositivo. Por lo tanto, la tarjeta SIM permite identificar a cada usuario independientemente de la terminal utilizada durante la comunicación con la estación base.

Las comunicaciones entre una estación móvil y una estación base (ver figura 19) se producen a través de un vínculo de radio, por lo general denominado interfaz de aire (o en raras ocasiones, *interfaz Um*) (López A. , 2017).

²⁹ **SIM:** Subscriber identity module - Módulo de identificación de abonado

³⁰ **IMEI:** International Mobile Station Equipment Identity- Identidad internacional de equipo móvil

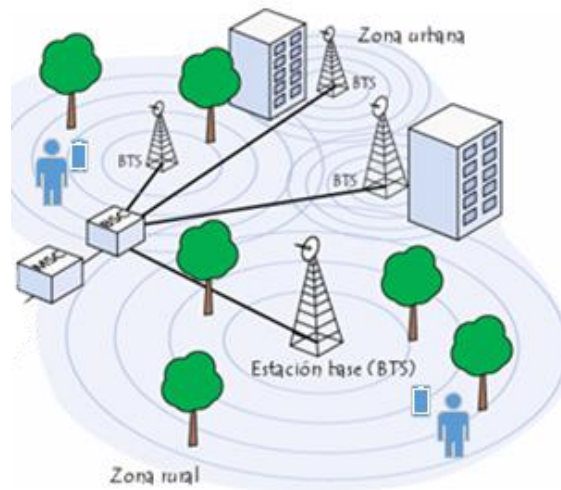


Figura 19. Arquitectura de una red GSM
Fuente: Andrés López, (2017)

2.6.2.1. Estructura de la red GSM

En la figura 20 se establece la estructura de la red GSM de manera general en donde las BTS³¹ de una red móvil son interconectadas a un controlador de estación base denominados como los BSC³², estos se encargan de gestionar la distribución de los recursos que presenta una red GSM. Aquí se presenta el subsistema de estaciones bases denominada BSS³³ el cual es la agrupación todas las estaciones base de una etapa con el controlador de estaciones base.

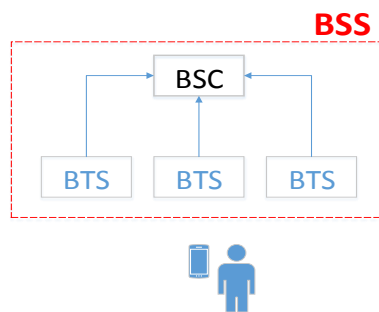


Figura 20. Esquema de una BSS
Fuente: El autor

³¹ **BTS**: Base Transceiver Station - Estaciones Base.

³² **BSC**: Base Station Controller – Controlador de estación base.

³³ **BSS**: Subsistema de estación base.

Los BSC están conectados directamente al MSC³⁴ que a su vez se conecta a la red telefónica pública, lo cual el operador se encarga de administrar los servicios de telefonía móvil. Aquí es donde aparece otro subsistema denominado NSS³⁵ que es el que pertenece al MSC además de administrar la ubicación de usuarios, identidades y lograr establecer la comunicación con usuarios que no pertenezcan a la operadora, en la figura 21 se establece el proceso de conexión de este sistema.

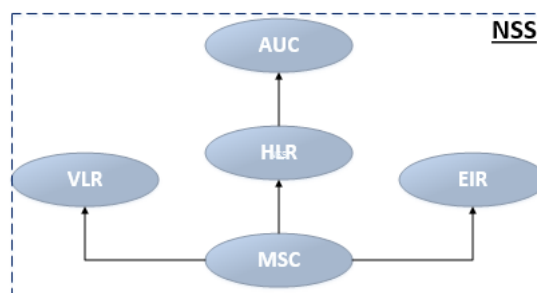


Figura 21. Esquema del subsistema NSS
Fuente: El autor

Habitualmente el MSC es el que proporciona funciones concretas que son conectadas a bases de datos para la generación de información:

- **HLR³⁶**: es la función que trabaja con la base de datos que posee información acerca de la posición geográfica, información tanto administrativa como de localización, etc de todos los abonados que se encuentren registrados en la etapa del MSC (conmutador).
- **VLR³⁷**: es una base de datos en donde se posee la información de abonados que no son locales. Lo cual el VLR recupera la información de ese abonado mediante el HLR de la etapa de abonado en donde se localice. Esta información se logra almacenar

³⁴ **MSC**: Mobile Switching Centre - Centro de Conmutación de Servicios Móviles.

³⁵ **NSS**: Network Switching Subsystem o Subsistema de Conmutación de Red.

³⁶ **HLR**: Home Location Register - Registro de ubicación de origen

³⁷ **VLR**: Visitor Location Register - Registro de ubicación de visitante

mientras el abonado está internamente en la etapa y se eliminan en cuanto el usuario deja la etapa.

- **EIR³⁸**: es una base de datos en donde posee toda la información de todos los terminales móviles.
- **AUC³⁹**: esta función logra confirmar las identidades de los usuarios finales.

Es así que mediante todos los dispositivos y funciones anteriormente mencionadas se establece una red GSM para la admisión de movilidad de los usuarios a través de la administración y gestión de los movimientos que realiza un abonado de traspaso de una celda a otra celda.

³⁸ **EIR**: Equipment Identity Register - Registro de identificación del equipo

³⁹ **AUC**: Authentication Centre - Centro de autenticación

CAPITULO III

3. DISEÑO DE LA RED PARA EL MONITOREO ELÉCTRICO

En este capítulo se detallará el proceso que se debe seguir para cumplir con los objetivos mencionados mediante el uso de dispositivos y software que se crean convenientes y así lograr establecer el sistema de monitoreo en un ambiente eléctrico en donde es indispensable la inexistencia de fallas o cortes energéticos.

3.1. Modelo en V para el desarrollo de sistemas electrónicos

El diseño será planteado mediante el modelo en “V” o modelo de los 4 niveles que se caracteriza por una representación básica del desarrollo de sistemas. Se decidió por esta opción debido a que este método ayuda a gestionar el proyecto en 4 etapas que son presentadas por el modelo, dando así una facilidad en el desarrollo en donde se establecerán las acciones y funciones que debe cumplir cada uno de las etapas. En la figura 22 se describe cada una de las etapas que se plantearán para desarrollar el proyecto.

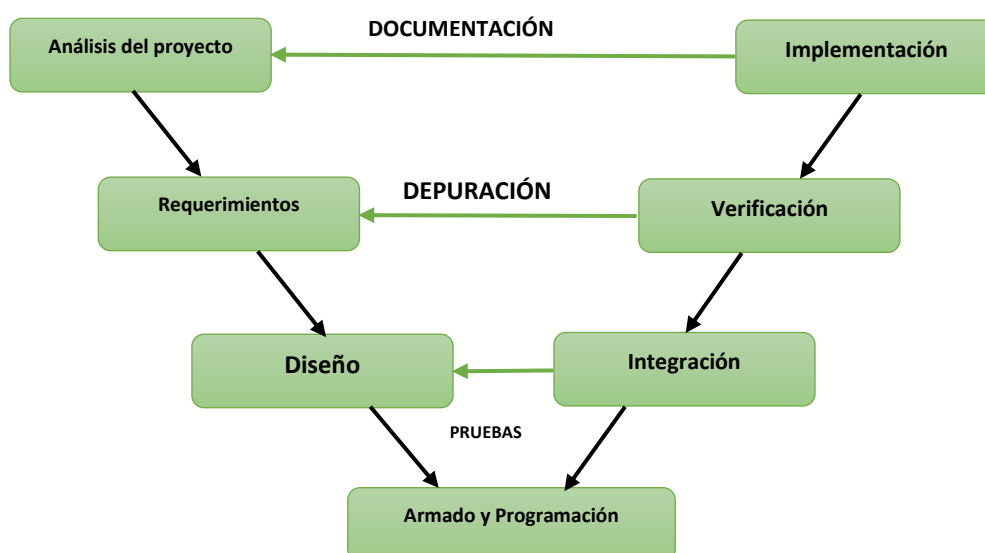


Figura 22. Proceso de desarrollo mediante el Modelo en V
Fuente: (Arias, 2010)

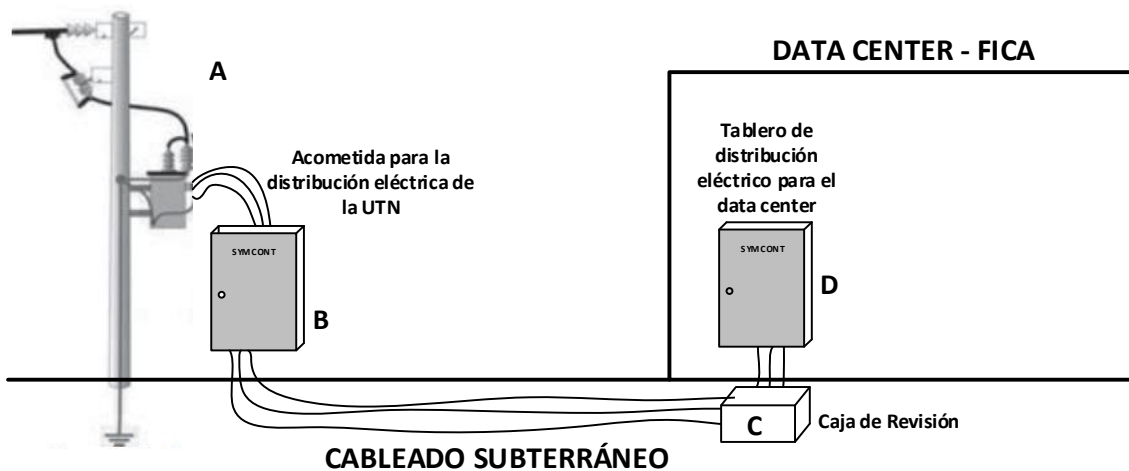
3.1.1. Análisis del Proyecto

La idea concreta para este sistema es poder sondear el sistema eléctrico mediante un dispositivo de medición cuya función será el de proporcionar valores en tiempo real, en caso de presentar alguna anomalía eléctrica se logre generar notificaciones de tipo SMS para evitar daños tanto físico como lógico en los equipos del data center.

3.1.2. Situación actual del sistema eléctrico

La acometida eléctrica presente en el data center de la FICA está instalada como una acometida independiente y exclusivamente dedicada al sitio. Todo comienza desde la distribución eléctrica comercial de uno de los postes presentes dentro de la universidad situado en frente del Gimnasio de la UTN.

La distribución parte del transformador eléctrico situado en ese poste, el cableado eléctrico está situada de manera subterránea hasta el pozo de concreto de verificación situada en la parte externa de la facultad (frente del data center). La acometida eléctrica ingresa por debajo del piso falso para luego subir hasta el tablero general de distribución, en la figura 23 se establece la ruta, conexión y distribución de los puntos de terminales de la acometida eléctrica para el sitio designado.



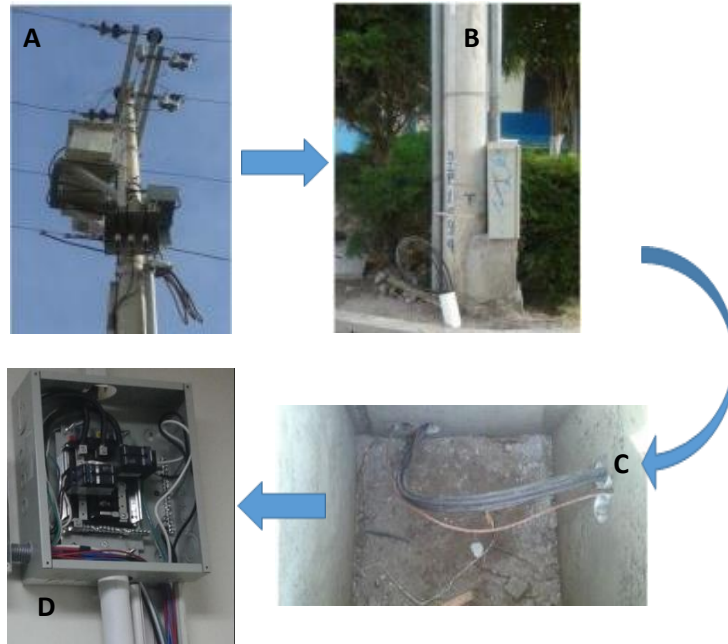


Figura 23. Distribución General Eléctrica
Fuente: El autor

La figura 24 da a conocer el tablero general de distribución del sitio, esta sección contiene todas las conexiones del data center ya que es el tablero principal. Es aquí en donde llega la acometida eléctrica formado por 4 conductores dividida en 3 fases eléctricas (1-2-3) y 1 conductor neutro (4).



Figura 24. Tablero general de distribución eléctrica
Fuente: El Autor

3.1.2.1. Características

Según el diseño eléctrico presente actualmente en el data center, el tablero de distribución y la acometida siguen especificaciones técnicas las cuales se las detallarán a continuación:

3.1.2.1.1. Acometida eléctrica

La acometida eléctrica presente en el data center posee las siguientes características físicas:

- Sistema trifásico.
- Posee conductores eléctricos calibre AWG #2 con protección TTU⁴⁰.
- Tensión total: 380 [VAC], entre fases: 220 [VAC], entre fase-neutro: 110 [VAC].
- Posee un breaker termo-magnético que limita la capacidad de amperaje por fase en 80 [A].

3.1.2.1.2. Tablero de distribución del Data Center

Este tablero eléctrico es el que provee energía eléctrica a todos los equipos del data center, posee las siguientes características:

- Está diseñado para la acometida de 1 o las 3 fases eléctricas.
- Presenta un voltaje de 127/220 [VAC]
- Presenta una corriente de hasta 50 [A] en los terminales del breaker principal
- Derivaciones para otros subsistemas eléctricos.

Este tablero eléctrico general de distribución posee conexiones con varios subsistemas es por ende que da alimentación a estos sistemas (ver figura 25):

⁴⁰ **TTU:** (Thermoset Insulation and Thermoplastic Jacket Underground) - Doble protección con aislamiento termoplástico y chaqueta termoplástica para instalaciones subterráneas.

- Sistema UPS
- Sistema de aire acondicionado
- Sistema de control de acceso

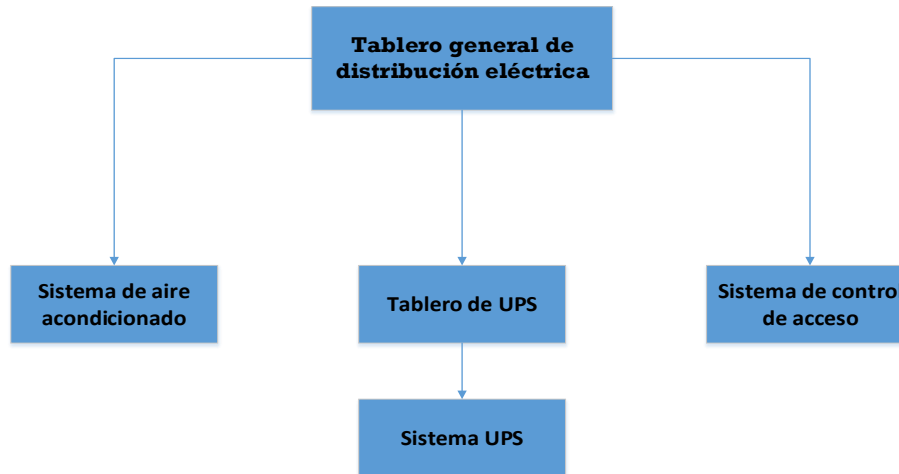


Figura 25. Topología del Sistema Eléctrico
Fuente: El autor

3.1.2.1.3. Voltaje de funcionamiento de equipos presentes en el data center

En el Data Center presiden equipos activos de telecomunicaciones, estos equipos poseen un rango de energía en los que trabajan en óptimas condiciones, por algún caso existiera problemas en el sistema eléctrico como sobretensión, caída de voltaje o cortes eléctricos los equipos simplemente dejarían de funcionar.

La única protección para estas anomalías es el respaldo del UPS pero posee un tiempo determinado y transcurrido eso las baterías comenzarían a descargarse por lo que en ese tiempo se tiene que obtener respaldos y/o apagar debidamente los equipos para evitar cualquier pérdida de información. En la siguiente tabla se da a conocer las características eléctricas de funcionamiento de los equipos informáticos presentes en el data center.

Tabla 3.

Rangos de funcionamiento de equipos de telecomunicaciones

Equipo	Voltaje de entrada [V AC]	Potencia [W]
Servidor HP Proliant DL360 G9	120 [V AC] 230 [V AC]	100 [W]
Servidor IBM System x3250 4365	120 [V AC] 240 [V AC]	140 [W]
Servidor IBM System x3500 M4	110 [V AC] 220 [V AC]	90 [W]
Servidor HP Proliant ML150 G5	110 [V AC] 220 [V AC]	150 [W]
Servidor IBM System x3650 M3	100 [V AC] 240 [V AC]	175 [W]
Servidor IBM System x3500 M2	120 [V AC] 230 [V AC]	175 [W]
PC Servidor Biométricos (Core i3)	100 [V AC] 240 [V AC]	90 [W]
Adaptador POE 80U- 560g CISCO	100 [V AC] 240 [V AC]	100 [W]
Switch 3COM		48 [W]
Switch LINKSYS 24 Puertos	100 [V AC] 240 [V AC]	17,65 [W]
Router Board Mikrotik 1100 X2 AH	110 [V AC] 250 [V AC]	25 [W]
Switch CISCO Catalyst 4506 E	100 [V AC] 250 [V AC]	180 [W]
NVR Video Vigilancia	105 [V AC] 240 [V AC]	115 [W]

Rango de valores de voltaje para el funcionamiento correcto de los equipos de telecomunicaciones

Los datos de la tabla 4 se tomó en cuenta de acuerdo a las especificaciones dadas por (Arturo García, 2004) en donde especifica los límites de funcionalidad en general de equipos eléctricos con una alimentación de 120 [V] aproximadamente.

Tabla 4.

Rangos para generación de las notificaciones

Límite de voltaje	Detalle
> 175	Sobretensión
<90	Caída de voltaje
= 0	Corte de energía

Limites tomados en cuenta para generar un tipo de notificación de acuerdo al tipo de caso a suscitarse.

Los equipos electrónicos de la actualidad pueden operar con un voltaje de hasta 95 [V] pero el inconveniente que conlleva esto es que trabajan de manera inestable por lo que el equipo puede apagarse o no trabajar con sus funciones al 100%. Mientras que si trabaja con un voltaje mayor a 170 [V] este puede llegar a sufrir daños o degradación en sus componentes electrónicos por lo que se recomienda trabajar en un punto de transición de 100 a 160 [V] respectivamente y lo ideal es desde los 110 a 140 [V].

Referente al proyecto no se tendría el problema de sobretensión ya que la acometida del data center pertenece a la distribución del tablero de distribución principal de la universidad. La acometida de este tablero posee una protección (breaker) el cual protege a todas las redes que se derivan después del breaker de la acometida comercial. Es decir que si se diera el caso de una sobretensión, estos breakers interrumpen el flujo de corriente lo cual evitaría este problema en toda la red interna eléctrica de la universidad.

Mientras el caso de caída de voltaje, este fenómeno se puede presentar por el arranque de maquinaria industrial, motores de gran consumo de carga, por el uso de bombas industriales o por una sobre saturación de consumo en zonas urbanas. Este caso tampoco se presentaría ya que la acometida del data center es una red dedicada que solo está siendo usada por los equipos informáticos del sitio por lo cual no se establecería una gran carga en esta red eléctrica.

El único caso que se puede presentar es un corte energético ya que si existe ausencia de energía en la acometida comercial también se presentaría en la red interna de la universidad por lo que el data center quedaría sin energía eléctrica y por lo cual sería el único problema que se puede suscitar.

3.1.3. Análisis de Problema a Solucionar

El problema que se contempla solucionar se especifica en base a las necesidades que posee la entidad. Para lo cual, desean poder monitorear una parte importante consistido por el sistema eléctrico, que por medio de cualquier manera se pueda notificar si se produjera anomalías en el sistema eléctrico del data center.

Para realizar la monitorización de valores eléctricos se ha buscado la forma de lograr cumplir esta función, para lo cual se ha regido a normas de la “IEC” y “DIN EN”, donde se dan a conocer requisitos básicos que deben regir al momento de realizar actividades en ambientes eléctricos de baja y media tensión. Las normas a seguir son:

- **IEC 61557-12**

Seguridad eléctrica en sistemas de distribución de baja tensión de hasta 1.000 [Vca] y 1.500 [Vcc] - Parte 12: Dispositivos de medición y vigilancia del rendimiento eléctrico (PMD) (Commission, 2007).

Establece el uso de equipos para utilizarlos en ambientes eléctricos, tales equipos deben poseer funciones como la lectura de medición de voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia y potencias (activa, reactiva y aparente) de cada una de las líneas eléctricas. Esta norma está restringida a equipos instalados fijamente que puede ser interna o externamente en sistemas monofásicos y trifásicos de corriente continua o alterna con tensiones de hasta 1000 [Vca] o de 1500 [Vcc] respectivamente.

- **DIN EN 61000-4-2:2001**

Compatibilidad electromagnética (EMC) - Parte 4-2: Prueba de inmunidad a descargas electrostáticas (AENOR, 2010).

Los equipos basados en esta norma están regidas a pruebas en donde no han sufrido daños de ningún tipo al ser expuestas a descargas electrostáticas tanto del personal como de equipos cercanos.

- **DIN EN 61000-4-5:2007**

Compatibilidad electromagnética (EMC) - Parte 4-5: Prueba de inmunidad a sobretensiones (AENOR .. , 2017).

Los equipos basados en esta norma están regidas a pruebas en donde no han sufrido daños de ningún tipo al ser expuestas a sobretensiones unidireccionales producidas por sobretensiones de transición y transitorios de rayos.

- **DIN EN 61000-4-11:2005**

Compatibilidad electromagnética (EMC) - Parte 4-11: Pruebas por caída de tensión, interrupciones cortas y variaciones de tensión (GmbH, 2005).

Define los métodos de prueba de inmunidad y la gama de niveles de prueba preferidos para equipos eléctricos y electrónicos conectados a redes de alimentación de baja tensión sin ninguna falla en el equipo por interrupciones de tensión, interrupciones cortas y variaciones de tensión.

En base al estándar IEC 61557-12 se decide en utilizar un dispositivo para la medición de valores en ambientes eléctricos siempre y cuando cumplan exactamente con el estándar DIN EN 61000-4-2:2001, DIN EN 61000-4-5:2007 y DIN EN 61000-4-11:2005.

3.1.4. Perspectiva de la idea del sistema a desarrollar

La solución que se ha analizado de manera general es de un sistema de monitoreo para ambientes industriales (eléctricos) que en este caso será un tablero eléctrico de distribución, deberá poseer una comunicación maestro/esclavo que es una de las características principales. La información obtenida deberá ser de fácil manipulación y legible, el acceso de vía local como la función de enviar notificaciones SMS mediante un dispositivo GSM como vía externa para la supervisión serán las herramientas que obtenga el usuario, todo este proceso se representa de manera general en la figura 26:

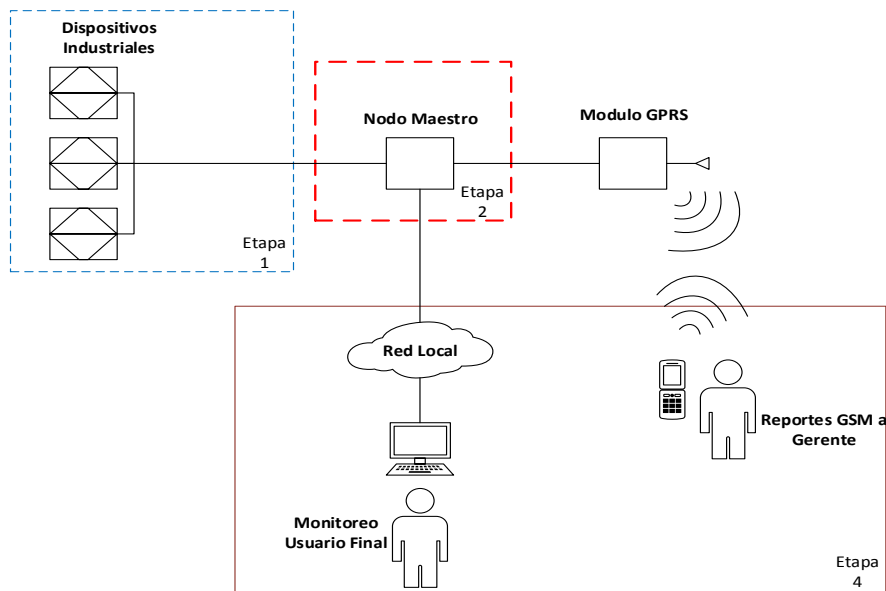


Figura 26. Sistema general de monitoreo
Fuente: El autor

El sistema se ha dividido en 3 etapas para explicar de manera más simple y enfatizando cada uno de estas zonas, en la primera etapa será representado como un dispositivo de medición eléctrica denominado como esclavo.

En la siguiente etapa se encontrará el nodo central el cual está constituido por un dispositivo maestro quien será el receptor de la información que es enviada desde el nodo esclavo, además de generar las notificaciones de alerta.

Y por último, la etapa 3 es la parte de los usuarios finales, básicamente representa los métodos de visualización del sistema de monitoreo que tendrá el usuario para su respectiva revisión.

3.1.5. Requerimientos del sistema

Las especificaciones y requisitos que deben ser necesarios para el desarrollo del proyecto planteado toma en cuenta a elementos que logren determinar el correcto funcionamiento del sistema o stakeholder⁴¹, los implicados logran determinar funcionalidades específicas y concretas de acuerdo a las necesidades, además de recomendaciones que fuesen necesarias.

3.1.5.1. Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales son confirmaciones de los diferentes servicios que un sistema va a proveer. El cual la entidad necesita un sistema de monitoreo que al momento de presentar anomalías o cortes en la red eléctrica, este pueda notificar de esos inconvenientes. Con esta idea general se puede asociar varios tipos de hardware que puedan prestar funcionalidades como:

- Medición de la red eléctrica (RM – “Requerimiento de Medición”)
- Procesamiento (RP – “Requerimiento de Procesamiento”)
- Servicio de mensajería SMS (RGSM – “Requerimiento GSM”)
- Desarrollo del software (RS- “Requerimiento de Software”)

Estos requerimientos están asociados para el desarrollo y funcionamiento del proyecto, en las siguientes tablas se describe características relevantes de acuerdo a la funcionalidad que va a necesitar, adicionalmente se calificará según lo más relevante y lo esencial que debe poseer para llegar a los resultados que se desea adquirir.

⁴¹ **Stakeholder:** determinar una persona o negocio que ha invertido dinero en algo.

En la tabla 5 se conocerá requerimientos acerca de que funcionalidades en general debe proporcionar el método o dispositivo que realizará la medición de la red eléctrica por lo cual se ha tomado en cuenta los siguientes aspectos:

Tabla 5.

Requerimientos funcionales de medición eléctrica

Descripción	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
RM1	Deberá cumplir con el estándar IEC 61557-12.	x		
RM2	Poder realizar medición de magnitudes eléctricas (Voltajes, corrientes, potencias).	x		
RM3	Deberá ser inmune a sobretensiones (DIN EN 61000-4-5).	x		
RM4	Deberá poseer alguna interfaz para la comunicación (RS-485/422, RS-232, RJ45 o serial).	x		
RM5	Ser inmune a descargas electrostáticas (DIN EN 61000-4-2).		x	
RM6	Poseer protocolo de comunicación Modbus (si cumple el RM4).		x	
RM7	Tener dimensiones apropiadas, no exceder los 300[mm] de profundidad.			x
RM9	Deberá tener la disponibilidad de lectura de datos sin necesidad de utilizar un software propietario.		x	

Requerimientos principales que debe ser cumplido para el desarrollo de la parte de medición eléctrica en la red de distribución eléctrica.

En la tabla 6 se conocerá los requerimientos que el hardware debe poseer, una de ellas es el procesamiento de la información que va a realizar. Además deberá asociarse con librerías Modbus sin ningún problema para así facilitar la integración y comunicación con diferentes módulos electrónicos.

Tabla 6.

Requerimientos del hardware de procesamiento

Descripción	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
RP1	Deberá poseer 3 pines UART para la comunicación de varios módulos.	x		
RP2	Deberá funcionar de manera interrumpida (24 horas, 7 días) sin fallar.	x		
RP3	Deberá ser compatible con librerías que usen el protocolo Modbus y soportar una comunicación RS-485.		x	
RP4	Poseer una interfaz para conexión a Ethernet	x		
RP5	Ser compatibilidad para conectar con módulos GSM, RTC y sockets para varias funciones.		x	
RP6	Reconozca varios lenguajes de programación como código html o c#.			x

Requerimientos que debe cumplir el hardware el cual será el centro de todas las acciones que debe realizar.

La tabla 7 son requerimientos prioritarios que necesita el sistema para el envío de notificación SMS por medio de las redes GSM. El hardware que cumpla con estas opciones debe poseer una compatibilidad tanto en comunicación como en librerías de programación para poder trabajar con el módulo de procesamiento seleccionado.

Tabla 7.

Requerimientos del hardware GSM

Descripción	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
RGSM1	Deberá poseer el servicio de mensajería SMS	x		
RGSM2	Poseer una interfaz de comunicación UART	x		
RGSM3	Deberá trabajar en las bandas de frecuencias 850 y 1900 MHz (3G).	x		
RGSM4	Poseer una fuente de energía propia.			x
RGSM5	Deberá poseer librerías GSM para establecer una comunicación con el hardware de procesamiento.		x	

Requerimientos necesarios de servicios GSM que se tomaron en cuenta para establecer la comunicación.

La tabla 8 se detalla las necesidades básicas que el sistema total puede presentar, el software tiene que ser permisivo tanto para los algoritmos como permitir agregar otras librerías de lenguajes similares. Además de prestar requerimientos secundarios como poder gestionar y modificar librerías para uso personal.

Tabla 8.

Requerimientos generales varios

Descripción	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
RS1	Deberá permitir la modificación y gestión de librerías.	x		
RS2	Deberá comunicarse con dispositivos sin restricciones (open-source).		x	
RS3	Poseer una libertad en la agregación de librerías, además tener una interfaz gráfica de fácil manipulación.	x		
RV2	Tener compatibilidad con dispositivos de marcas diferentes.		x	

Requerimientos de software y otros que se tomaran en cuenta en el sistema de monitoreo.

3.1.5.2. Comparativa del hardware y software

De acuerdo a los requerimientos mencionados en las tablas 5, 6, 7, 8 se establecerá una comparativa entre hardware y software que cumplan con estos requisitos. Este proceso es necesario ya que en el mercado existe una gran variedad de dispositivos y placas electrónicas que podrían ayudar a cumplir las funciones específicas que se desea desarrollar. La elección se regirá en un proceso de valoración con los requerimientos necesarios, en donde se elegirá el que obtenga mayor valoración.

3.1.5.2.1. Hardware del sistema

En esta sección se establecerá una breve descripción de las características de hardware y software que el mercado presenta en la actualidad, esto se lo realizará mediante tablas

comparativas y así poder determinar cuál es el que llega a cumplir con los requerimientos necesarios.

- **Comparativa entre medidores digitales eléctricos.**

En la tabla 9, se especifica instrumentos de medición para líneas eléctricas de diferentes marcas. En el mercado existe gran variedad de marcas que ofrecen productos avanzados que proporcionan funciones de medición de redes eléctricas de media y baja tensión. Por lo cual se describirán 3 tipos de medidores de redes eléctricas que son los más utilizadas en el campo industrial eléctrico, se elegirá la opción más óptima para el proyecto a realizar:

Tabla 9.

Comparativa de medidores eléctricos

CUADRO COMPARATIVO DE MEDIDORES ELÉCTRICOS			
	DPM-C530A	PAC 3100	PM 710
Pantalla para visualizar valores	Si posee	Si posee	Si posee
Protocolo de comunicación	Modbus RTU/ASCII	Modbus RTU/ASCII	Modbus RTU/ASCII - Profibus
Interfaz de comunicación	RS-232	RS-485	RS-485
Software propietario	Necesita para obtener los datos almacenados	No lo requiere	No lo necesita pero es limitado con la obtención de datos
Medición de voltaje	20v ~ 400v [L-N] 35v ~ 690v [L-L]	11,5v~332,4v [L-N] 20v~576v [L-L]	10v ~ 277v [L-N] 10v ~ 480v [L-L]
Medición de potencias	Cálculo mediante otros valores medidos	Cálculo mediante otros valores medidos	Cálculo mediante otros valores medidos
Alimentación	80~265 [V] en AC 100~300 [V] en DC	100~240 [V] en AC 110~250 [V] en DC	100~415V en AC 125~250V en CC

Dimensiones (A*h*P-mm)	96x96x72	96x96x56	92x92x50
Estándar DIN EN 61000-4-5	SI	SI	No posee
Estándar DIN EN 61000-4-11	SI	SI	SI
Estándar DIN EN 61000-4-2	No posee	Si	Si
Costo	Costoso USD 791,73	Moderado USD 410,79	Costoso 890,47 USD

Características principales de 3 tipos de instrumentación de medición eléctrica utilizadas en el ámbito industrial

- **Comparativa entre hardware de procesamiento**

En la tabla 10 se detalla características que posee algunas de las placas embebidas programables más usadas, es necesario verificar todas estas opciones y elegir la más óptima ya que será el cerebro del sistema además de procesar toda la información. En la actualidad existen varias herramientas conocidas en el mercado que cumple con los requerimientos que se desea y en la siguiente tabla se los detallará:

Tabla 10.

Características del circuito de procesamiento

CUADRO COMPARATIVO DE PLACAS PROGRAMABLES				
Dispositivo	Arduino Mega	Rasberri PI	BeagleBone Black Industrial	Netduino
Característica				
Fabricante	Arduino	Fundacion Raspberry PI	Texas Instruments	Netduino
Frecuencia	16 MHz	700 MHz	1 GHz	120 MHz
RAM	8 Kb	512 Mb	512 Mb	60 Kb
S.O.	Unix-arduino	Debian denominada Raspbian	Debian y sus versiones 7, 8, 8.3	Unix
Consumo	40 mA 5V 0,23W	800 mA 5V 4W	210-460 mA 5V	35-40 mA 5v

Red Ethernet	Añadiendo un socket Ethernet	Ethernet	Ethernet	No posee
Audio	No posee	HDMI	HDMI	No posee
Video	No posee	HDMI	HDMI	No posee
Pines	Analogicas y Digitales, 4 UART, SPI,etc	8 pines GPIO 5 SP10, 2 UART, y 2 I2C1	65 pines E/S digital, 2 UART.	6 analógicos 14 digitales, 1 UART.
Limitante de aplicaciones	No tiene limitaciones en sus aplicaciones	No tiene limitaciones en sus aplicaciones	Basado en actividades industriales	No tiene limitaciones en sus aplicaciones
Tamaño	Pequeño	Mediano	Mediano	Mediano
Costo	\$ 22.50	\$ 65	\$ 130	\$ 40

Características principales de los diferentes hardwares embebidos programables que existen en el mercado de la electrónica.

- **Comparativa entre módulos GSM.**

La tabla 11 contiene características de varios módulos que realizan la acción de comunicación con tecnología GSM. Este módulo debe poseer el servicio de mensajería de texto (SMS). A continuación se detallará los más conocidos en el mercado tanto por su funcionalidad como los servicios que proporciona.

Tabla 11.

Características de módulos GSM

CUADRO COMPARATIVO DE MÓDULOS GSM				
Dispositivo	Módulo GSM/GPRS ENFORA	GSM Módulo ADH8066	GSM GPRS SIM 900	GSM GPRS SIM 800L
Fabricante	Enfora	Ansatz	SIMCOM	SIMCOM
Compatibilidad con circuitos embebidos	BeagleBone Black Industrial	Arduino, Raspberry, Netduino, etc	Arduino, Raspberry, Netduino, etc	Arduino, Raspberry, Netduino, etc
Dimensiones	27 x 28 mm	33 x 36 mm	41 x 35 mm	25 x 23 mm
Bandas	Cuatribanda: 850, 900, 1800, 1900 MHz	Tribanda: 900, 1800, 1900 MHz	Tribanda: 900, 1800, 1900 MHz	Cuatribanda: 850, 900, 1800, 1900 MHz
Consumo	3.5 a 5 v 1.5 mA ~ 1 A	3.5 ~ 4.7 v 2.5 mA	3.2 a 4.8 v 22 mA ~ 2 A	3.4 v – 4.4 v 0.7 mA ~ 850 mA

Pines	Sócalo con 65 pines	Sócalo con 50 pines	20 pines	7 pines
SIM	Ranura para SIM	Ranura para SIM	Ranura para SIM	Ranura para micro SIM
Código de comunicación	Comandos AT	Comandos AT	Comandos AT	Comandos AT
Aplicaciones que soporta	Voz, SMS	SMS	Voz, SMS	Voz, SMS
Tamaño	Mediano	Mediano	Mediano	Pequeño
Costo	\$ 77,55	\$ 34,00	\$ 31,35	\$ 14,50

Módulos GSM de 3 marcas diferentes con sus respectivas características de funcionamiento, prestación de servicios, consumos de energía, frecuencias en las que trabaja para saber si tiene la posibilidad de ser utilizadas.

- **Comparativa IDE⁴² de compilación**

El software de compilación será electo de acuerdo a la placa embebida selecta ya que será una herramienta importante para el desarrollo del código de programación del sistema de monitoreo. En este caso se analizará los más utilizados comúnmente en los hardwares programables vistos en la tabla 10, lo cual se detallan características importantes que se especifican en la tabla 12 de acuerdo a los requerimientos que son necesarios.

Tabla 12.

Características de módulos GSM

CUADRO COMPARATIVO SOFTWARE DE COMPILACIÓN				
Dispositivo	AVR-LIBC	Arduino IDE	Raspbian Lite	Visual Studio
Característica				
Lenguaje	C puro y C++	C++, No es puro sino que es una adaptación avr-libc	Python, Tiny BASIC, C, Perl y Ruby	C++, C#, Visual Basic.NET, F#, Java, Python, Ruby, PHP
Compatibilidad hardware	Placas que posean microcontroladores atmel	Compatible con toda la gama de arduinos	Toda la gama de placas raspberry	-----

⁴² **IDE**: Integrated Drive Electronic- Entorno de desarrollo integrado

Dificultad	Moderado	Sencillo	Fácil	Moderado
Tamaño	250 Mb	400 Mb	1.8 Gb	4 Gb
Licencia	Open Source	Open Source	Open Source	Open Source
Precio	Gratuito	Gratuito	Gratuito	Gratuito
Compatibilidad S.O.	Window, Linux	Windows, Linux, Mac OS	Windows, Linux, Mac OS	Windows, Linux
Librerías	Librerías preestablecidas para circuitos Atmel	Posee librerías de todas las placas versión arduino	Posee librerías para las placas de raspberry	Librerías dinámicas .NET Frameworks

Características generales de algunos software de compilación tomando en cuenta la placa embebida que lo utiliza.

3.1.5.3. Elección del medidor de redes eléctricas

Con las características mencionadas en la tabla 5, los requerimientos que se conocieron de algunos medidores existentes en el mercado industrial para redes eléctricas son los más relevantes e indispensables para el proyecto, en la tabla 13 se valorarán estos dispositivos y referente a las opciones anteriormente expuestas se observará cual complace a los requerimientos necesitados de funcionalidad y la opción que obtenga la mayor valoración será selecta. La valoración constará con el valor 0 para el caso de no cumplir con el requerimiento, 1 cuando cumpla en parte y 2 cuando cumple totalmente.

Tabla 13.

Valoración y elección del medidor de redes eléctricas

MEDIDOR DE REDES ELÉCTRICAS				
<i>Dispositivos</i>	DPM-C530A	PAC 3100	PM 710	
<i>Requerimientos</i>				
RM1	2	2	2	
RM2	2	2	2	
RM3	2	2	1	
RM4	2	2	2	

RM5	2	2	1
RM6	2	2	2
RM7	1	1	1
RM9	1	2	1
RV1	1	2	2
RV3	1	2	1
TOTAL	16	20	16

Elección: De acuerdo a la valoración máxima, la elección más recomendable que proporciona todos los requerimientos mencionados en la tabla 5 es el medidor PAC 3100 debido a sus características de funcionalidad, optar por menor precio en el mercado en comparación a los otros medidores. Posee una pantalla para verificar los valores eléctricos que presenta la red eléctrica, además de cumplir con todos los estándares básicos para el uso de dispositivos de medición en ambientes eléctricos.

Cuadro de valoración de los 3 tipos de dispositivos de medición eléctrica presentes en el mercado industrial para el uso en ambientes eléctricos.

3.1.5.4. Elección de la placa programable (Unidad de procesamiento)

Con las características que se mencionan en la tabla 6 referente a los requerimientos que debe presentar la unidad de procesamiento del sistema, se tomará en cuenta la tabla 10 para su evaluación y así especificar cuál es la más certera para la elaboración del sistema. En la tabla 14 se elige cual es la más aceptable con la ayuda de la valoración más alta.

Tabla 14.

Valoración y elección del medidor de redes eléctricas

PLACAS PROGRAMABLES EMBEBIDAS				
<i>Dispositivos</i>	Arduino M.	Raspberry PI	BeagleBone Black Industrial	Netduino
<i>Requerimientos</i>				
RP1	2	1	1	1
RP2	2	2	2	2
RP3	1	1	2	1

<i>RP4</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>RP5</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>RP6</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>1</i>
<i>RV3</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>RV4</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>TOTAL</i>	<i>14</i>	<i>12</i>	<i>9</i>	<i>12</i>

Elección: Arduino fue la opción con mayor valoración, las características se ajustan a los requerimientos necesarios, además posee un costo bajo, su manipulación es muy sencilla y su lenguaje de comunicación no es complicado. Logra soportar librerías de otros desarrolladores y además de poder agregar librerías de módulos diferentes a la marca arduino. Tiene un lenguaje abierto (open source) que permite la comunicación con diferentes placas, módulos y lo más importante es que posee un consumo de energía mínimo.

Cuadro de valoración dando a conocer las diferentes placas embebidas que podrán funcionar como unidad de procesamiento.

Con la elección de la placa arduino como la mejor opción para el sistema, se establece de una vez el software de programación el cual es el propio IDE arduino que esta placa posee para realizar el código con lenguaje de programación propio. Una de las características que resalta es la fácil manipulación, su interfaz posee un grado de dificultad medio. Posee librerías de varios módulos electrónicos de la marca arduino u otra marca. El código que se realiza puede ser grabado a la placa mediante una comunicación serial.

3.1.5.5. Elección del módulo GSM

Se realizará la valoración tomando en cuenta las características que se mencionan en la tabla 7 referente a los requerimientos necesarios que debe presentar el módulo GSM y así especificar cuál es la más certera para la elaboración del sistema. En la tabla 15 se selecciona cual es la más aceptable con la ayuda de la valoración más alta.

Tabla 15.

Valoración y elección del módulo GSM

MÓDULOS GSM				
<i>Dispositivos</i> <i>Requerimientos</i>	Módulo GSM/GPRS ENFORA	GSM Módulo ADH8066	GSM GPRS SIM 900	GSM GPRS SIM 800L
RGSM1	2	2	2	2
RGSM2	2	2	2	2
RGSM3	2	0	2	2
RGSM4	0	1	0	0
RGSM5	2	1	2	2
RV1	2	2	2	2
RV2	1	1	2	2
RV3	1	1	2	2
RV4	1	1	2	2
TOTAL	13	11	16	16

Elección: La opción con mayor valoración es el módulo GSM 800L, este posee muchas ventajas no solo por sus varias aplicaciones sino por presentar pequeñas dimensiones y fácil de manipular. Posee pines específicos de comunicación sencillos que van conectados a la placa arduino. Su principal característica es trabajar en las 4 bandas de frecuencia, es decir que es compatible en todo el mundo para redes 3G. Su costo es muy bajo, además de trabajar con comandos AT para su comunicación.

Cuadro de valoración para la selección de un módulo con funciones GSM que permitirá realizar las funciones necesitadas.

3.2. Diseño del sistema

Para lograr elaborar el sistema de monitoreo es preciso considerar varios aspectos con los que se va a trabajar como el tablero de distribución eléctrica, el tipo de acometida que posee el sitio y las variables eléctricas que serán tomadas en cuenta para la notificación de alerta que posteriormente será enviada al administrador del sitio de manera instantánea.

La colocación del dispositivo de medición en la red eléctrica tendrá como objetivo medir los valores eléctricos de las fases que posea el tablero de distribución principal,

deberá estar instalado de manera segura ya que no se desea generar ningún problema tanto con el equipo de medición ni con la red eléctrica.

3.2.1. Diagrama de bloques

Con la ayuda del diagrama de bloques presentado en la figura 27 se tendrá de manera concisa la idea de la estructura física de todos los componentes. El sistema posee un medidor de red eléctrica conocido como PAC 3100, este será conectado en el tablero de distribución, este dispositivo será quien este en permanente sondeo, el dispositivo de procesamiento elegido (arduino Mega) será el receptor de valores eléctricos y mediante la programación se verificará si estos datos están en los límites permitidos, si no lo fuera este enviará una notificación de alerta mediante un mensaje SMS por medio de un módulo GSM.



Figura 27. Diagrama de bloques del sistema en general

Fuente: El autor

Todo el sistema se ha dividido en 3 etapas, cada una de ellas posee elementos, funciones y comunicaciones específicas para el intercambio de información con la etapa siguiente como se detalla en la figura 28.

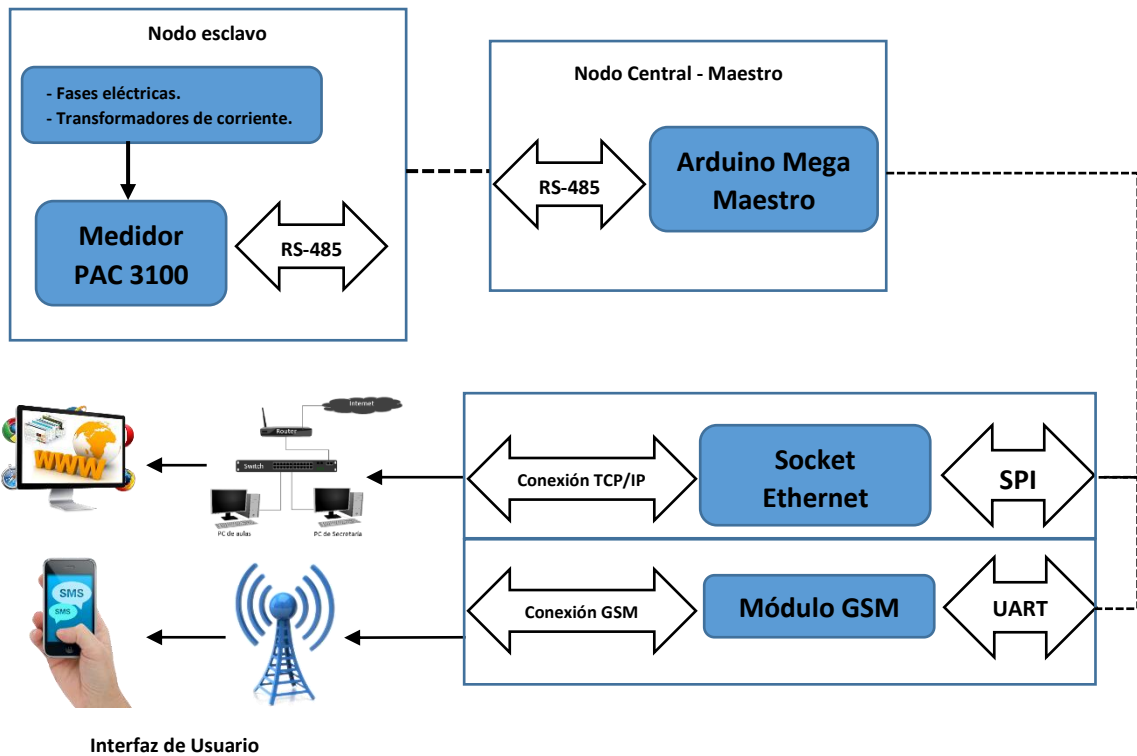


Figura 28. Arquitectura general del sistema
Fuente: El autor

3.2.2. Análisis de la etapa 1

Esta etapa es la que presenta el medidor de variables eléctrica selecto, posee grandes ventajas además de ser intuitivo (manipulación sencilla). En esta sección se dará a conocer la funcionalidad, características, diagrama de conexión con el tablero de distribución.

3.2.2.1. Medidor Digital Eléctrico

El tablero de distribución está conectado en un medidor multifunción PAC 3100 de la marca Siemens (ver figura 29), es un dispositivo de medición digital rápido y sencillo para lectura de los principales parámetros eléctricos, específicamente para la visualización de las variables de energía de baja tensión.

Gracias al soporte de tensión puede conectarse directamente a un sistema de baja tensión hasta una tensión nominal de 480 [V] L-L, en el anexo 1 se muestra todas las

especificaciones tanto técnicas, de conexión y voltajes límites de medición que soporta este dispositivo, en la tabla 16 se detallan las características de este equipo.



Figura 29. Medidor Eléctrico PAC 3100
Fuente: (Siemens Energy & Automation, 2009), Pág. 2

3.2.2.1.1. Características del PAC 3100

Tabla 16.

Características principales del medidor multifuncional PAC 3100

CARACTERÍSTICAS	PAC 3100
Pantalla para visualizar parámetros	Si posee
Protocolo de comunicación	Modbus RTU
Interfaz de comunicación	RS-485
Medición de voltaje	11,5 ~ 332,4 [L-N] 20 ~ 576 [L-L]
Medición de potencias	Cálculo mediante otros valores medidos
Alimentación	100 ~ 240 v en AC 110 ~ 250 v en DC
Frecuencia	50 ~ 60 [Hz]

Características generales del medidor multifuncional PAC 3100, esto fue obtenido de Siemens AG. (2014); Pág. 12

3.2.2.1.2. Identificación de pines del PAC 3100

Las fases eléctricas situadas en el tablero de distribución principal serán quien proporcione los datos para el sondeo del sistema eléctrico. El dispositivo de medición receptorá los valores en tiempo real. En la parte posterior inferior están presenten las borneras de lectura tanto de voltaje como corriente para las 3 líneas eléctricas, en la figura 30 se puede visualizar esta distribución de pines además se detalla cada uno de ellos en la tabla 17.

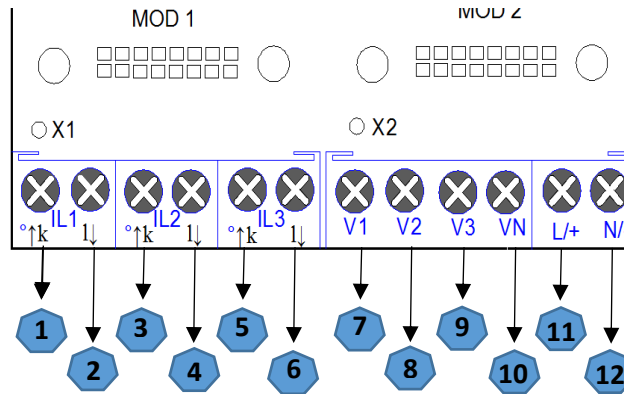


Figura 30. Distribución de pines - Parte posterior PAC 3100

Fuente: El autor

Tabla 17.

Rotulación de borneras

N°	Bornera	Función
1	IL1 - $\circ\uparrow k$	Corriente IL1 de entrada
2	IL1 - $l\downarrow$	Corriente IL1 de salida
3	IL2 - $\circ\uparrow k$	Corriente IL2 de entrada
4	IL2 - $l\downarrow$	Corriente IL2 de salida
5	IL3 - $\circ\uparrow k$	Corriente IL3 de entrada
6	IL2 - $l\downarrow$	Corriente IL3 de salida
7	V1	Tensión: L1-N
8	V2	Tensión: L2-N
9	V3	Tensión: L3-N
10	V _N	Neutro
11	L/+	Alimentación (1 fase)
12	N/-	Neutro

Detalle de cada una de las borneras situadas en la parte posterior del PAC 3100 en donde se identifica cada una de ellas para su correcta conexión.

3.2.2.1.3. Alimentación del dispositivo

En la figura 31 se especifica los pines y el orden de conexión para la alimentación del dispositivo. La alimentación se la puede realizar tanto en AC como en DC, funciona de las dos formas siempre y cuando se suministre una tensión nominal entre 100 a 240 [V] en AC y de 110 a 250 [V] en DC.

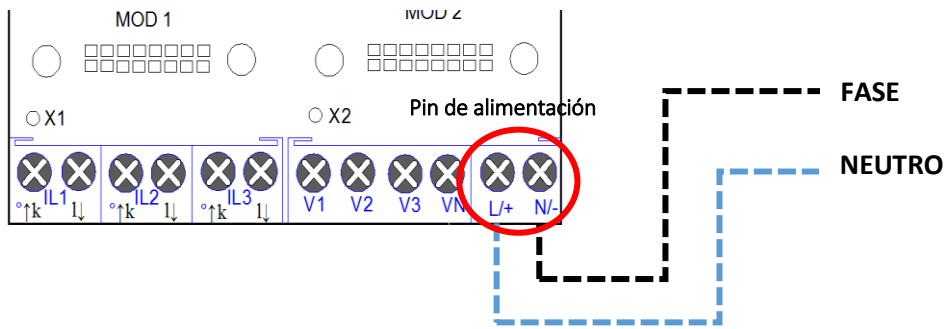


Figura 31. Pines de conexión de alimentación
Fuente: El autor

3.2.2.1.4. Protecciones de conexión

Según (Siemens, 2012; pág. 44) se hace énfasis acerca de las entradas voltimétricas, establece que antes de conectar con las fases eléctricas, el dispositivo debe ser protegido con un fusible de 10 [A] homologado o a su vez también puede ser conectado a interruptor termo-magnético automático de 10 [A] aprobado por la IEC⁴³.

La opción más recomendada fue un fusible de 10 [A] homologado que en este caso si es necesario ya que la situación actual del tablero principal especifica un valor de corriente de 65 [A] aproximadamente y con ese valor el dispositivo sufriría daños, el fusible posee varias ventajas de funcionalidad además del costo mínimo que tiene en comparación al termo magnético automático, esto se lo detalla en la tabla 18.

Tabla 18.

Tabla Comparativa entre fusible e interruptor

Detalles	Fusible	Interruptor Termomagnético
Ventajas	Son de menor tamaño	Cuando salta el interruptor no es necesario cambiarlo
	Tiene un intervalo rápido de interrupción	Cuando salte es sencillo volver a hacer funcionar el circuito
	Posee un costo económico	Son más seguros y fácil en su manipulación
Desventajas	Cada vez que se funden el fusible debe ser sustituido.	Posee un costo elevado

⁴³IEC: International Electrotechnical Commission - Comisión Electrotécnica Internacional.- Organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas

Cada que se conecte algún dispositivo que consuma demasiada corriente, el fusible dejará de funcionar.	Disparo más lento en comparación del fusible
--	--

Se detalla una comparativa básica entre el fusible y el interruptor termomagnético.

3.2.2.1.5. Características de conexión de voltaje y corriente

Para realizar la conexión física del tablero de distribución al medidor eléctrico es necesario especificar el tipo de conexión, esto ayudará a seleccionar el diagrama y los elementos a utilizar en la conexión, en este caso se utilizará el 3P4W (3 fases - 4 cables), en la figura 32 se puede apreciar el diagrama de conexión 3P4W con la parte posterior inferior del PAC 3100:

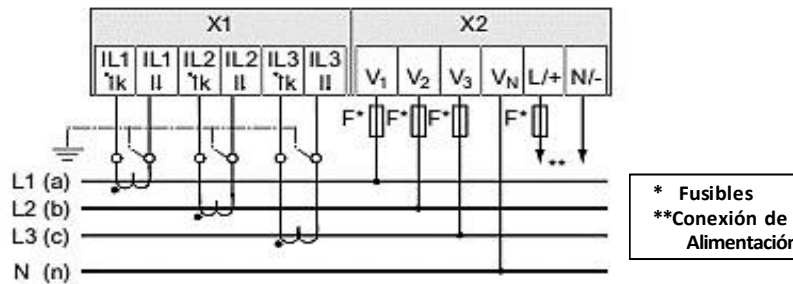


Figura 32. Diagrama de conexión entre tablero de distribución y PAC 3100

Fuente: Siemens AG (2014); pág. 46

El dispositivo puede funcionar hasta los valores máximos admisibles de la tensión con o sin transformadores de medida de tensión, en este caso no fue necesario. Para la intensidad solo es posible medir la corriente con transformadores de corriente (Siemens, 2015); pág. 67).

Según las especificaciones técnicas del medidor PAC 3100 (Siemens, 2012; pág. 67) menciona que el medidor ha sido ideado para la utilización de transformadores de corriente con corrientes secundarias de 5 [A], y que las entradas de medición de corriente soporta cargas de 10 [A] a 100[A].

Para este caso es necesario un transformador para cada fase eléctrica, el cual pueda soportar un amperaje de 125 [A]. El transformador debe poseer las siguientes características:

- Transformador de corriente AC en baja tensión.
- Devanado secundario emita una corriente de 5 [A].
- Soporte una intensidad de 125 [A] en el devanado principal.

Por lo cual se opta por utilizar un transformador AC del tipo TT/CC de la marca Schneider debido a su estructura, fácil manipulación y sobre todo ha sido tomado en cuenta por su funcionalidad muy simple, este transformador presenta las siguientes características que son expuestas en la tabla 19:

Tabla 19.

Características principales del medidor multifuncional PAC 3100

CARACTERÍSTICA	DETALLE
Corriente primaria	5 [A] – 300 [A]
Corriente secundaria	5 [A] – 1 [A]
Aprobación estándar	IEC 60044-1
Tensión máxima	0.72 [KV] / 3 [KV]
Frecuencia	50 [Hz] – 60 [Hz]
Carga nominal	1.5 [VA], 2.5 [VA]
Clase	0.5 - 1.0

Características generales del transformador de corriente tipo TT/CC seleccionado para la medición de la intensidad del sistema eléctrico

La gran ventaja de este transformador es su manera de utilizar, no es necesario abrir el circuito para realizar una medición sino que tiene la funcionalidad parecida a la pinza amperimétrica, es decir que solo es necesario colocar una de las fases por medio de este instrumento y mediante el flujo de corriente que genera en el conductor es posible medir ya que este transformador posee una bobina que puede receptar al campo magnético dando así lecturas de corriente, su funcionalidad se describe en la figura 33:

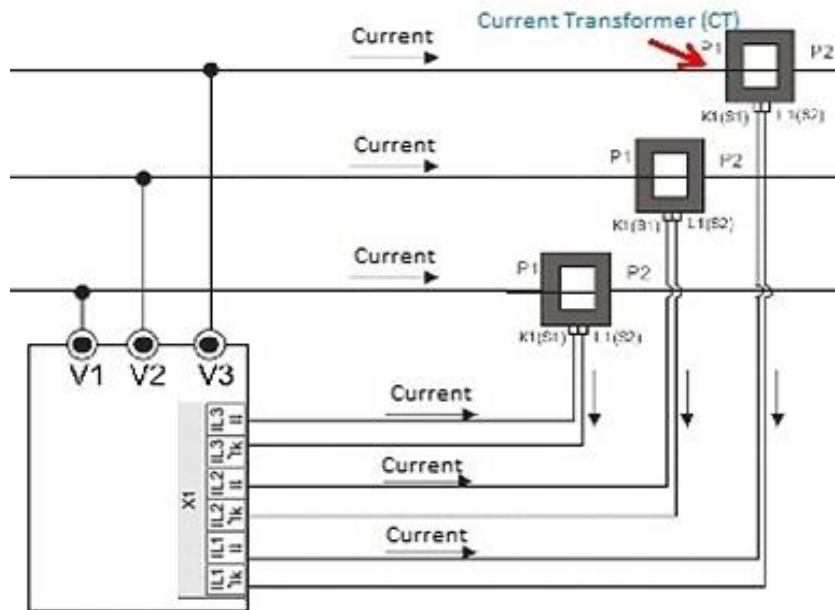


Figura 33. Diagrama de conexión de transformadores de corriente
Fuente: Siemens AG (2014)

En la figura 34 se obtiene en sí la conexión eléctrica para el equipo de medición lo que conlleva a que el equipo ya lograría generar lecturas de valores eléctricos y en sí que el usuario logre visualizar por medio de su pantalla incorporada.

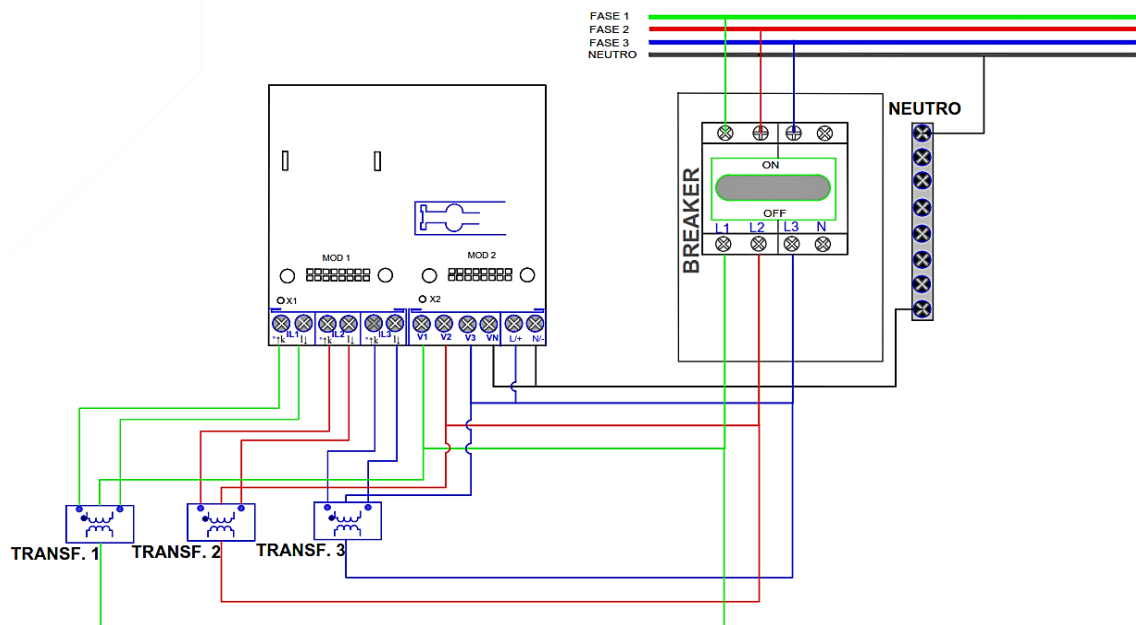


Figura 34. Diagrama total de conexión eléctrica de PAC 3100
Fuente: Autor

3.2.2.1.6. Interfaz RS 485 del PAC 3100

Esta interfaz permite la comunicación del dispositivo con el arduino mega, la gran ventaja de utilizar esta interfaz es la transmisión serial de datos a grandes distancias con altas velocidades sin perder información, además de solo poseer 3 pines para comunicarse como se muestra en la figura 35 y la distribución de pines se detallan en la tabla 20.

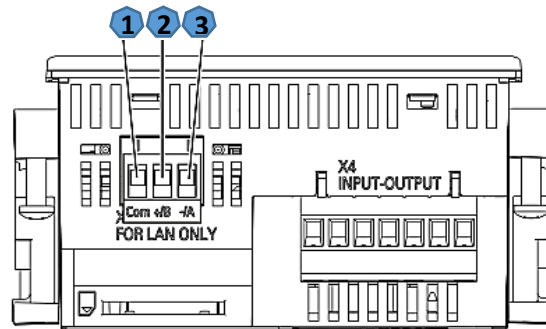


Figura 35. Interfaz RS-485 – Distribución de pines
Fuente: Siemens AG (2014)

Tabla 20.

Distribución de pines de la Interfaz RS 485

Nº	Bornera	Función
1	Com	Masa o el común
2	+/B	Señal B o D1
3	-/A	Señal A o D0

Pines de comunicación que posee la interfaz RS-485 del dispositivo de medición PAC 3100

3.2.2.2. Módulo RS485 (circuito integrado sn75176)

Los transceptores de bus diferencial sn75176 (ver figura 36) están diseñados para líneas de transmisión equilibradas y cumplen con la norma TIA / EIA-485-A. Este componente será quien de conectividad entre el módulo de medición y el arduino mega. En la figura 36 se obtiene en si el diagrama de conexión del sn75176 para el uso de la comunicación RS485, se aprecia que es un pequeño circuito el cual no va a tomar mucho espacio en el diagrama total.

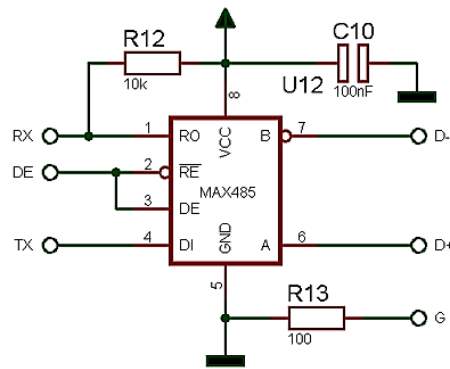


Figura 36. Diagrama del transceptor sn75176
Fuente: El autor

Tabla 21.

Distribución de pines del transceptor sn75176

PIN	TIPO	DESCRIPCIÓN
1 RO	O	Salida lógica de datos del receptor RS-485
2 RE	I	Habilitación de recepción (activa baja)
3 DE	I	Activar controlador (activo alto)
4 DI	I	Entrada lógica de datos al controlador RS-
5 GND	---	Pin de tierra del dispositivo
6 A	I/O	Línea de datos RS-422 o RS-485
7 B	I/O	Línea de datos RS-422 o RS-485
8 Vcc	---	Fuente de alimentación de 5 [V]

Se detalla el tipo de cada pin, es decir cuáles pueden ser entradas, salidas o entradas y salidas. Además del funcionamiento que presenta cada uno.

3.2.2.2.1. Método físico de transmisión

La interfaz posee 3 pines que comúnmente tienen la simbología de “A/+”, “B/-” y Com. El pin con el índice A/+ es la línea no invertida, el pin B/- especifica la línea invertida como se muestra en la figura 37. El proceso que realiza es la diferencia de tensión que genera las dos líneas que las interviene correspondientemente. En otras palabras para cada una de las señales que se vaya a transmitir existe un conductor respectivamente, lo cual genera una señal invertida y otra que no lo es.

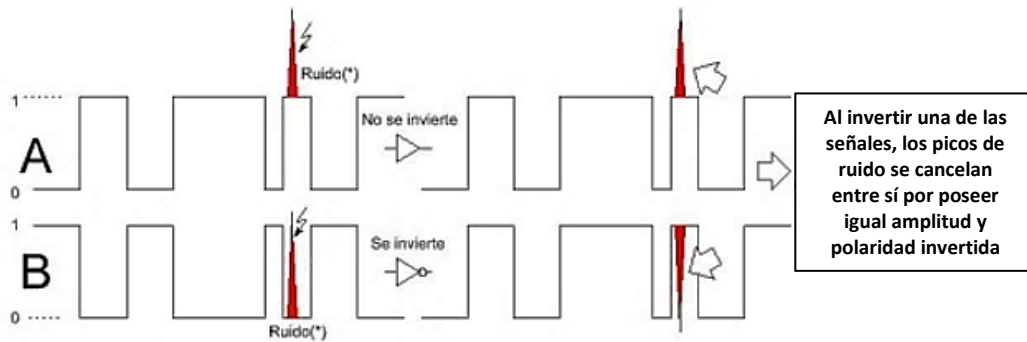


Figura 37. Transmisión de señales

Fuente: (Andrade, 2009)

3.2.3. Análisis de la Etapa 2

La etapa 2 comprende en la recepción y procesamiento de información del protocolo modbus RTU, además de ser analizado e interpretado a valores entendibles para la visualización del usuario. Aquí será en donde se alojen las comunicaciones del módulo GSM y del socket Ethernet para la activación de las diferentes vías en las que se puede monitorear el sistema.

El arduino Mega trabajará como un nodo centralizado que será conocido como maestro, para lograr establecer con una comunicación entre esclavo – maestro se tendrá que añadir el circuito integrado 485 entre los dos como se demuestra en la figura 38. La conexión entre maestro-esclavo es el siguiente:

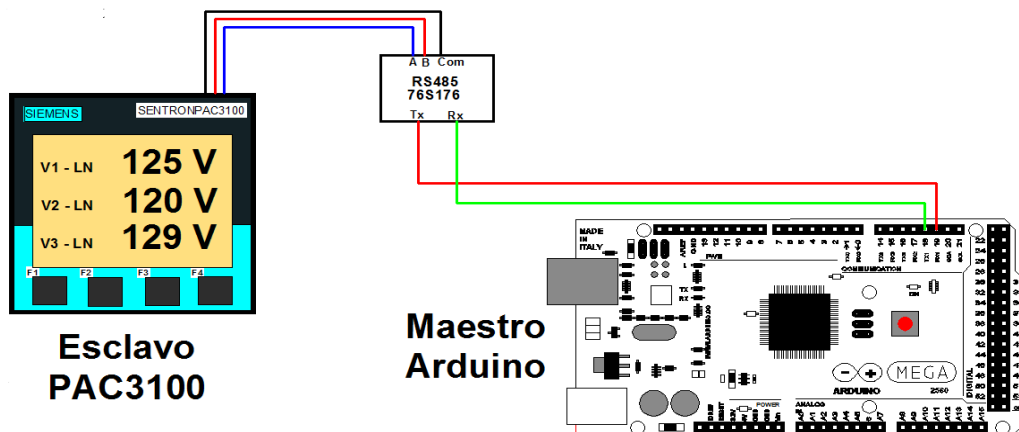


Figura 38. Esquema de conexión entre maestro-esclavo

Fuente: El autor

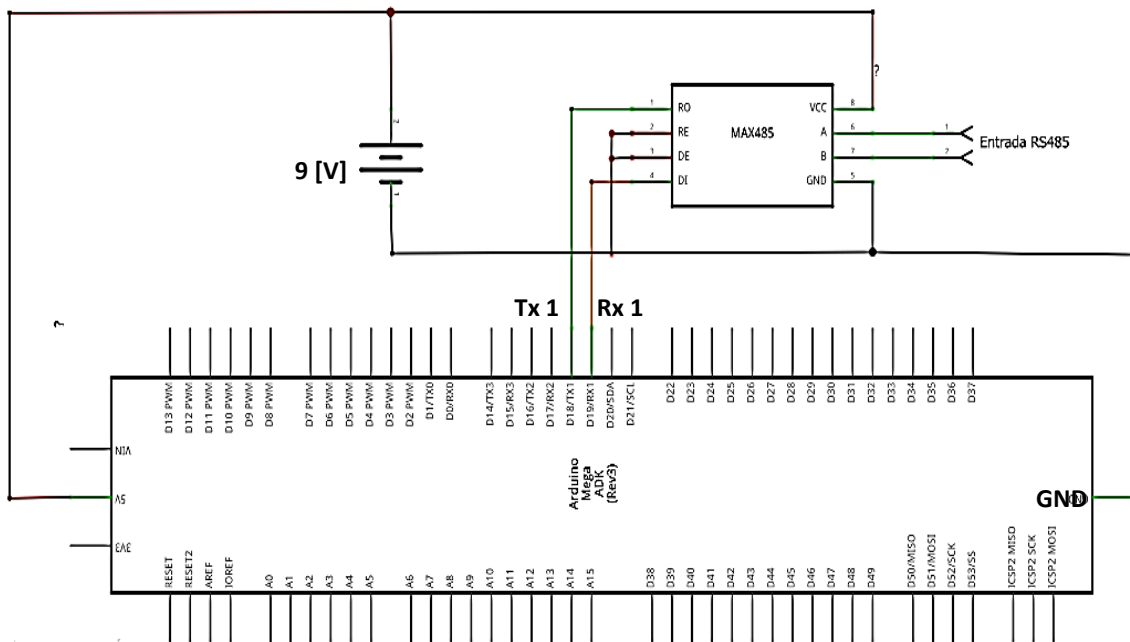


Figura 39. Diagrama del circuito de conexión entre maestro-esclavo

Fuente: El autor

3.2.3.1. Arduino MEGA 2560

La placa Arduino Mega 2560 (ver figura 40) es una versión extendida del arduino original UNO que trabaja con el microcontrolador Atmega 2560. Posee compatibilidad con la mayoría de las tarjetas o shield de diferentes aplicaciones que están disponibles para el arduino uno original, este será quien trabaje como el nodo central del sistema.

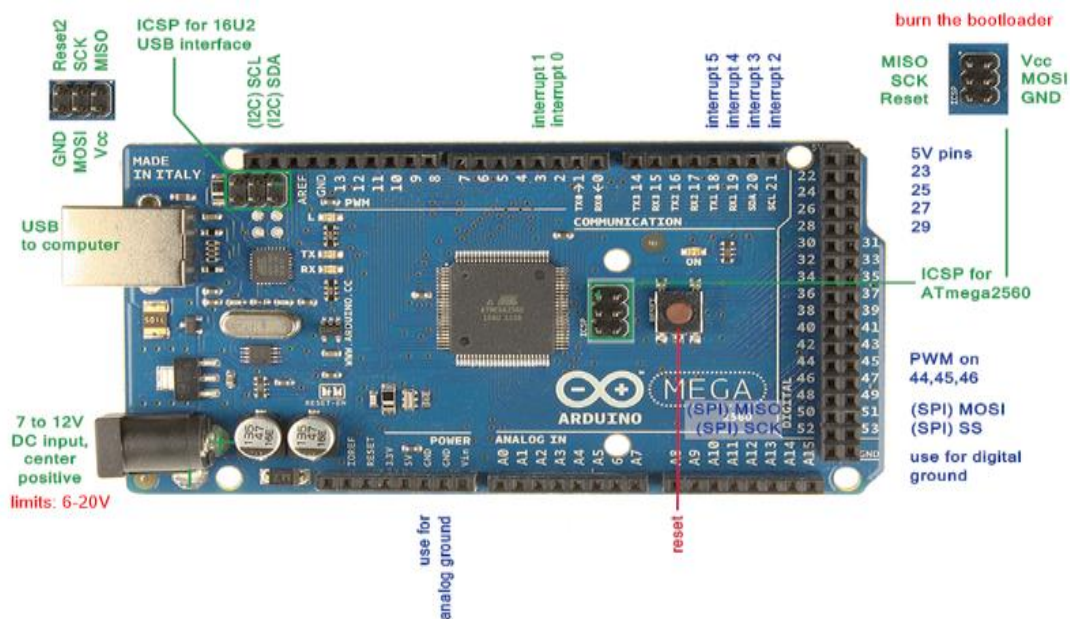


Figura 40. Partes del arduino Mega

Fuente: (Latorre, 2015)

3.2.3.1.1. Características de funcionalidad

De acuerdo a la hoja de datos del arduino mega, se consideran las especificaciones tanto técnicas, eléctricas y pines que posee, estas serán detalladas en la tabla 22.

Tabla 22.

Especificaciones del arduino Mega 2560

Microcontrolador	ATmega32u4
Voltaje de funcionamiento	5 [V]
Alimentación (recomendada)	7-12 [V]
Voltaje máximo de entrada (no recomendado)	20 [V]
Pines digitales I/O	54 (de los cuales 14 dan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente DC para el pin 3.3 [V]	50 [mA]
Memoria Flash	256 KB (Atmega 2560)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Microcontrolador	Atmega 2560

Características sobresalientes que presenta el módulo arduino Mega 2560 las cuales fueron tomados como referencia del datasheet (goo.gl/ni8Gez)

La alimentación especifica un rango entre 5 [V] como mínimo y 20 [V] como un valor límite máximo. Es recomendable trabajar en el intervalo de 7-12 [V], si se suministra menos de 5 [V] la placa puede ser inestable, mientras que si se energiza con más de 12 [V] la placa tiende a sobrecalentarse y sufrir daños.

3.2.3.2. Proceso de intercambio entre maestro - esclavo

En la figura 41 se aprecia el proceso de intercambio de información entre el maestro y esclavo mediante el método de flujograma:

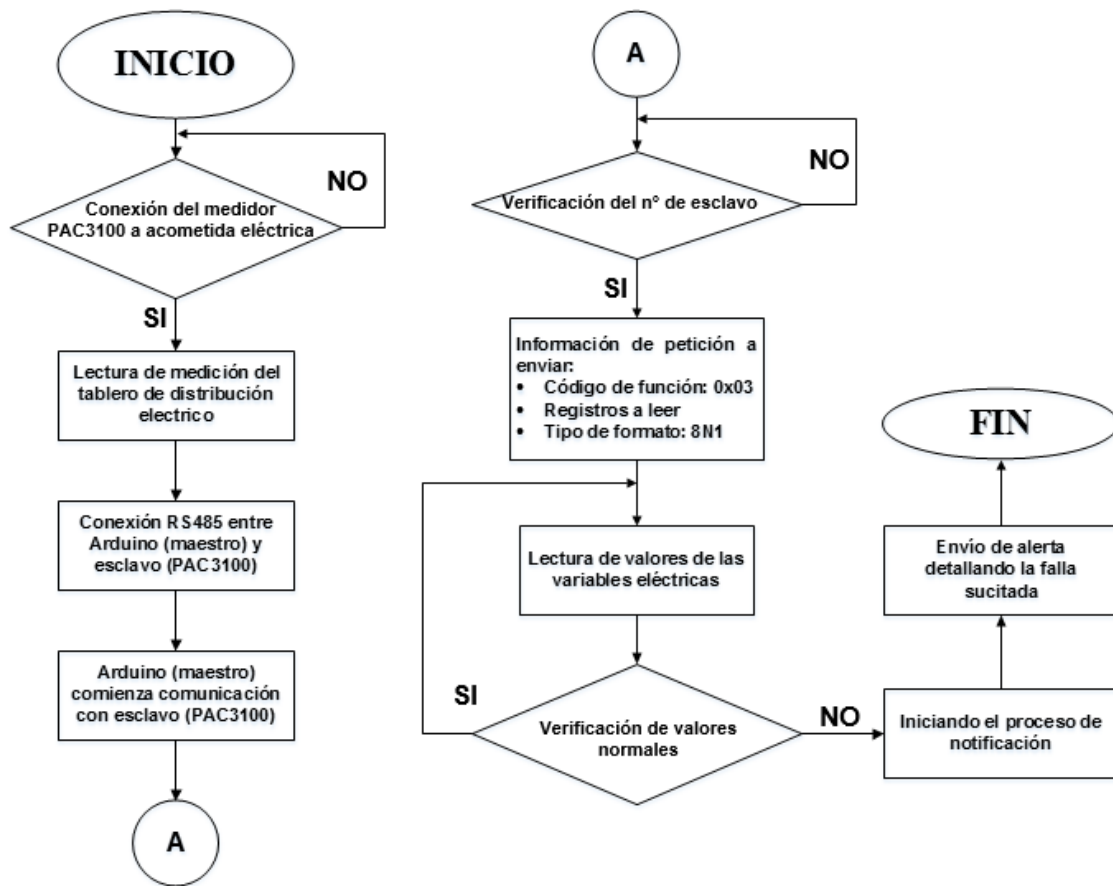


Figura 41. Flujograma del proceso de obtención de información
Fuente: El autor

3.2.3.3. Librerías de arduino

El uso de librerías es indispensable para entablar comunicación con varios dispositivos, entre las funciones a realizar se utilizará las siguientes librerías (ver anexo 6 – Programación):

- Librería para funciones de modbus maestro
- Librería Ethernet (pasarela de modbus a tcp)
- Librería serial (comunicación de módulos)
- Librería para módulo GSM (Comunicación GSM)

La librería “ModbusMaster.h” fue selecta porque posee características del protocolo Modbus (registros de lectura, código de lectura 0x03, comunicación RS-485 y trabajar en modo maestro), gracias a esto se logra establecer al módulo como maestro y poder tener

una comunicación por medio del protocolo Modbus y realizar una conexión con un medio físico 485.

La librería “Ethernet.h” es utilizada para establecer una comunicación a una red Ethernet, se tiene que configurar los parámetros para un dispositivo en la red (MAC, IP, máscara, gateway). La comunicación entre el arduino Mega y el Ethernet se lo hace por medio del bus ICSP. Para esta función es necesario la declaración de la librería “SPI.h”.

La librería “SoftwareSerial.h” es utilizada para establecer una comunicación en serie con otros pines del Arduino, así que estableciendo la palabra software se replica la funcionalidad de este, de ahí es que proviene la nomenclatura asignada "SoftwareSerial".

La librería “GSM.h” consiste prácticamente en la comunicación que realiza el chip 800L, la utilización de los comandos AT para el manejo de funciones específicas que en este caso es para el envío de mensajes de texto (SMS).

3.2.3.4. Comunicación entre arduino Mega 2560 y shield Ethernet

Para comunicarse entre estos dos módulos es necesario realizar una conexión mediante el bus ICSP. Esto permite que interactúen entre si realizando un modo maestro-esclavo. El arduino Mega 2560 será quien tome el papel de maestro mientras que el shield Ethernet será el esclavo. Cada una de las placas posee un bus ICSP, la figura 42-a establece el ICSP del shield Ethernet que generalmente tiene una interfaz hembra mientras que la figura 42-b establece al ICSP del arduino mega que posee una interfaz tipo macho.

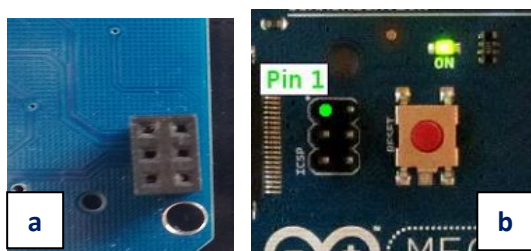


Figura 42. Buses ICSP de comunicación del shield Ethernet y el arduino Mega
Fuente: El autor

Para comunicarlos es necesario montar el módulo Ethernet sobre el arduino Mega 2560 tomando en cuenta los buses ICSP de cada uno respectivamente como se muestra en la figura 43.

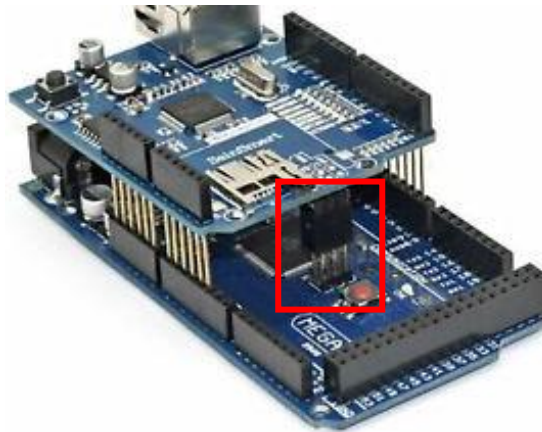


Figura 43. Montaje para comunicación ICSP
Fuente: El autor

3.2.3.4.1. Bus de comunicación ICSP

El medio de comunicación ICSP es un modo tipo maestro-esclavo. La comunicación es iniciada por el dispositivo maestro, puede transmitir o recibir información con uno o varios esclavos. Cabe recalcar que los esclavos no inician la comunicación, ni intercambiar información entre ellos.

En el medio físico ICSP se utilizan dos líneas independientes para el envío de información entre el maestro y esclavo. De las dos líneas que se utilizan, una es específicamente para la comunicación del maestro hacia el esclavo, mientras que la otra es del esclavo hacia el maestro. Por lo tanto utiliza una comunicación Full dúplex (maestro puede transmitir y recibir información simultáneamente).

Además este bus posee un modo síncrono, es decir que el maestro es el único que tiene señal de reloj y es el que mantiene sincronizado la comunicación entre los esclavos. La interfaz ICSP posee la siguiente distribución de pines como se muestra en la figura 44 y además estarán detalladas en la tabla 23:



Figura 44. Distribución de pines del bus ICSP
Fuente: El autor

Tabla 23.

Descripción de los pines del bus ICSP

Nº Pin	Pin	Detalle
1 (SPI)	MISO	(Master-in, slave-out) para comunicación del esclavo al maestro.
2 (SPI)	Vcc	Alimentación 5 [V]
3 (SPI)	SCK	(Serial - Clock) pulsos de reloj para sincronizar la tx de datos
4 (SPI)	MOSI	(Master-out, slave-in) para la comunicación del maestro al esclavo.
5 (SPI)	Reset	Reseteo
6 (SPI)	GND	Ground
4 (Pin)	SS/SC/SDA	Selecciona el dispositivo con el que se va a realizar la comunicación.

Detalle de pines asociados para realizar una conexión mediante el bus ICSP

3.2.3.4.2. Funcionamiento del bus SPI

La comunicación mediante este bus es muy sencillo ya que todo el proceso de transmisión de información es sincronizado y genera el maestro por medio del reloj. El proceso lo comienza el maestro por lo cual para establecer la comunicación con un esclavo, este esclavo se coloca en 0 lógico mientras la información es transmitida como se muestra en la figura 45-a, mientras que cuando el esclavo transmite su respuesta el maestro queda en estado LOW para su recepción de datos, esto se lo puede visualizar en la figura 45-b.

El maestro en cada uno de los pulsos de subida originado por la señales de reloj transmite un bit al esclavo, esto lo hace también el esclavo al momento de transmitir su

respuesta al maestro. La trama de datos no posee ninguna regla específica, se puede enviar bits arbitrariamente sin ninguna secuencia determinada. Lo único que deben conocer los dispositivos conectados es el significado de lo que se está enviando y receptando, además de pre acordar su longitud.

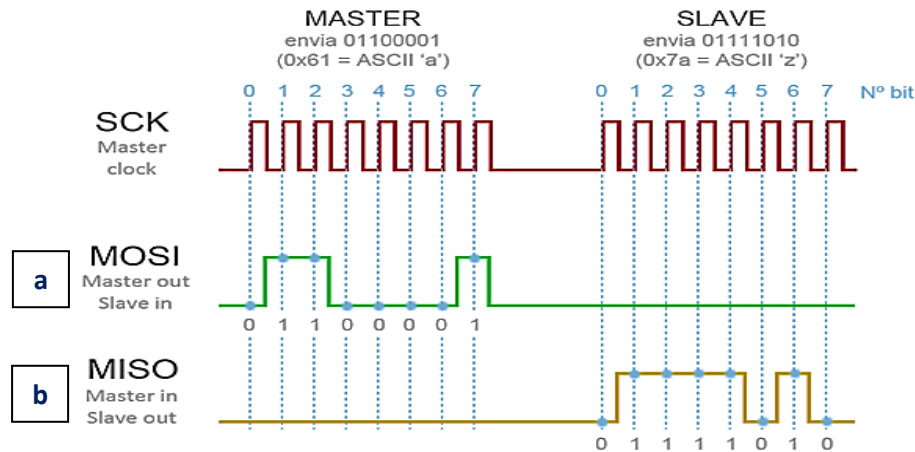


Figura 45. Funcionamiento del bus SPI

Fuente: (Llamas, 2016)

3.2.3.5. Comunicación de dispositivos Modbus en una red Ethernet

Para lograr establecer una comunicación con una red Ethernet es necesario la utilización de un módulo que permita realizar una conexión a este tipo de red. En este caso se ha de utilizar un shield Ethernet w5100 compatible con arduino para lograr realizar este requerimiento.

3.2.3.5.1. Shield Ethernet W5100

El módulo Ethernet es un placa muy convincente de cualquier forma que se la use ya que posee la capacidad de realizar una conexión con una red Ethernet, basada en la implementación de pila de protocolos TCP/IP, tiene incorporado un chip W5100 (ver figura 46), puede soportar los protocolos UDP y TCP. Este módulo ayudará a establecer una conexión a la red Ethernet del sitio para lograr visualizar los datos por medio de una dirección IP.

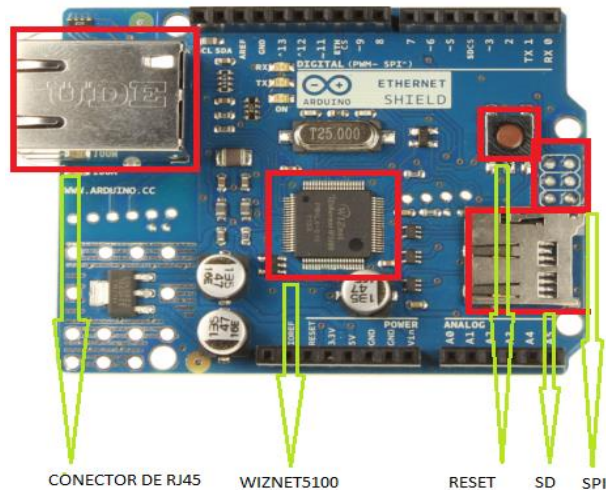


Figura 46. Módulo Ethernet W5100
Fuente: (TANAKA, 2015)

- **Características del Shield Ethernet**

Según (Crespo, 2016) establece características acerca del módulo Ethernet con funcionalidades del chip W5100:

- Placa compatible con arduino, posee el chip W5100 Ethernet de Wiznet.
- Conexión de 10baseT / 100BaseTX.
- Pila de protocolos IP con cavidad para TCP y UDP.
- Posee una interfaz estándar RJ-45.
- Ranura para el uso de una memoria micro SD.
- Tensión de alimentación de 5 [V].
- Posee un bus de comunicación ICSP.

3.2.3.6. Módulo SIM800L

El módulo GSM⁴⁴ de SIMCOM⁴⁵ (ver figura 47) posee una comunicación a nivel UART, una antena para realizar el enlace a una torre móvil. Posee un chip SIM800L (ver características en el anexo 2) y específicamente es el cerebro del circuito, este chip posee

⁴⁴ **GSM:** Global System for Mobile communications - sistema global para las comunicaciones móviles

⁴⁵ **SIMCom:** Compañía líder mundial en el mercado de módulos inalámbricos

un número de IMEI⁴⁶ que lo identifica. En la fase final del sistema de monitoreo se utilizará este módulo, es así como se pretende enviar las notificaciones.

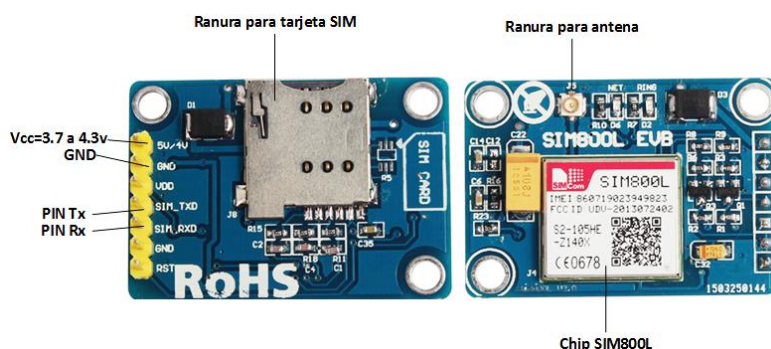


Figura 47. Módulo GSM/PRS SIM800L
Fuente: (Wijethunga, 2015)

3.2.3.6.1. Características Generales

Sus principales características es la variedad de funciones aplicativas que posee este módulo, en la tabla 24 se especifica las más relevantes como frecuencias en las que trabaja, su consumo de energía, entre otras.

Tabla 24.

Características del módulo GSM SIM 800L

Característica	Detalle
Quad band	Soporta 850/900/1800/1900 MHz
Control	Mediante comandos AT
Fases GSM	Cumple con la fase GSM 2/2 + - Clase 4 (2 W a 850/900 MHz) - Clase 1 (1 W @ 1800/1900 MHz)
Servicios	- SMS - Datos - FTP / HTTP - MMS - Correo electrónico
Alimentación	Voltaje: 3.4 v ~ 4.4 v
Protocolo de comunicación	Protocolo TCP / UDP incorporado
Dimensiones	15.8 * 17.8 * 2.4 mm
Clase	Estación móvil clase B

Características generales que posee el módulo SIM 800L en donde se detalla alimentación eléctrica, frecuencias de trabajo, protocolos, etc.

⁴⁶ **IMEI:** Identificador único que posee cada dispositivo móvil.

3.2.3.6.2. Distribución de pines de conexión

En la tabla 25 se distribuye cada uno de los pines y la conexión correspondiente con el arduino Mega, para esta comunicación se utilizará el UART 2:

Tabla 25.

Especificaciones técnicas del SIM800L

Especificaciones técnicas	
PIN	PIN Arduino
SIM800L Vcc (5v)	Fuente de alimentación externa de 3.3 [V] a 5.7 [V]
SIM800L GND	Conexión a GND.
SIM800L SIM_TXD	Conexión a Rx2 del arduino – transmisión de datos.
SIM800L SIM_RXD	Conexión a TX2 del arduino – recepción de datos.
SIM800L RST	Pin de reseteo del módulo.
Ranura SIM CARD	Insertar mini SIM de cualquier operadora

Especificaciones técnicas de módulo GSM SIM 800L con la identificación de conexión con el arduino, esto fue obtenido de: (Wijethunga, 2015)

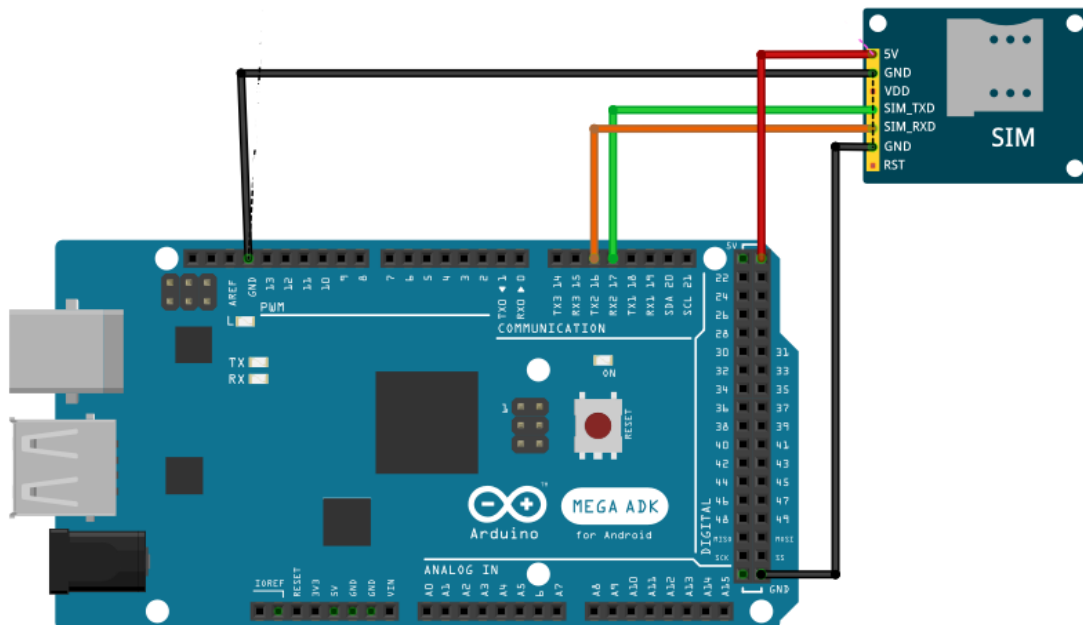


Figura 48. Esquema de conexión entre Arduino y SIM800L
Fuente: El autor

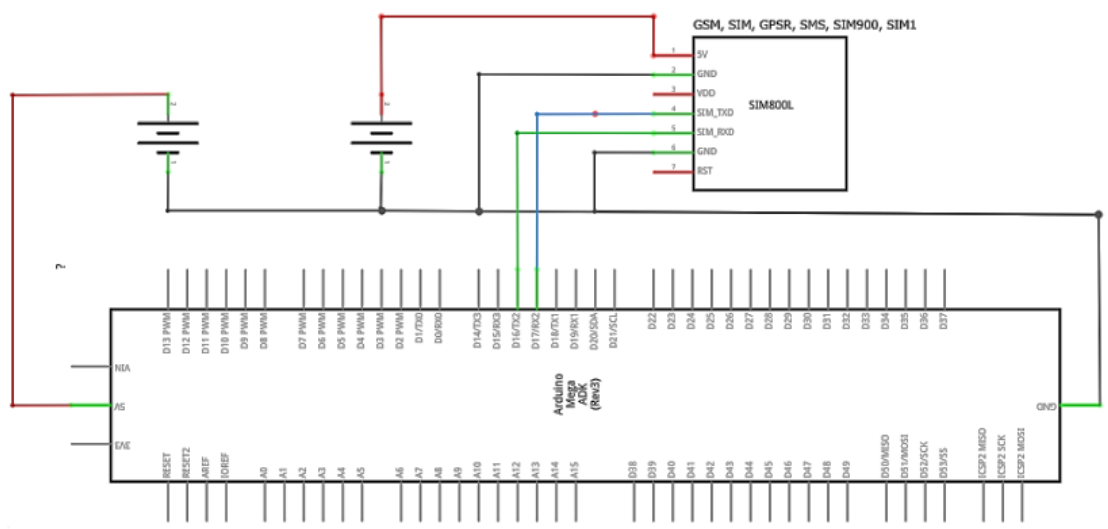


Figura 49. Diagrama del circuito de conexión entre Arduino y SIM800L
Fuente: El autor

3.2.3.6.3. Frecuencias de Trabajo

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.

3.2.3.6.4. Proceso de la notificación

El proceso de la notificación se establece al momento que el maestro (arduino mega) verifica alguna lectura fuera de los parámetros, una vez identificado esto el sistema procede a establecer una comunicación con el módulo GSM, lo siguiente que ocurrirá es verificar el número del usuario que tenga que recibir estos mensajes de alerta. En la figura 50 se da a entender el proceso antes mencionado.

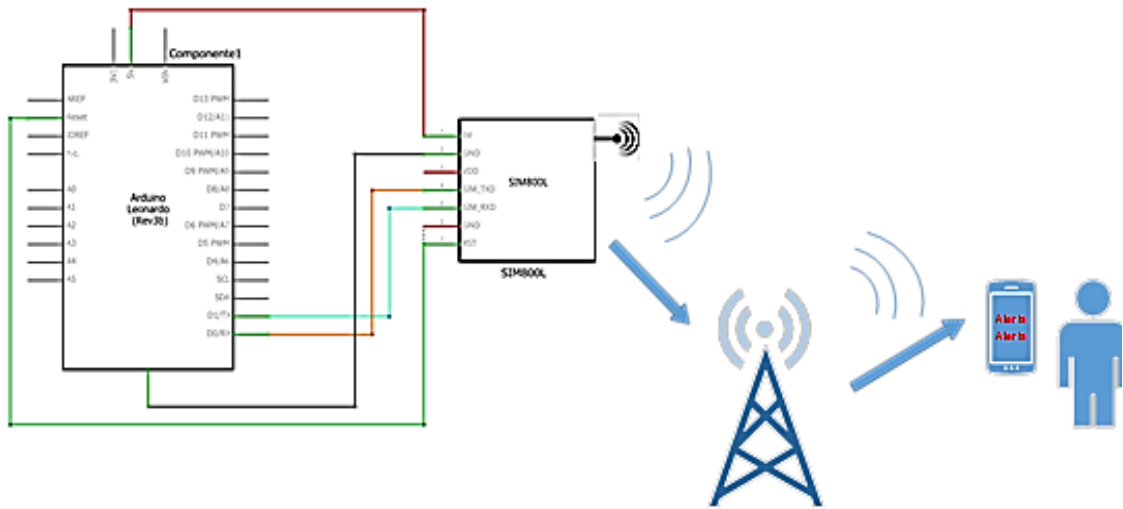


Figura 50. Conexión para la comunicación hacia el usuario
Fuente: El autor

Al momento que se verifica una anomalía, el maestro envía el comando `AT+CMGF=1`, este comando le declara al módulo SIM800L que se va a enviar un SMS específicamente va a ser de texto, el 1 es lo que representa eso. Adicionalmente se coloca después el comando `AT+CMGS=""# de teléfono de destinatario"`. Con estos comandos el envío del SMS de tipo texto al #destinatario será enviado, el proceso se lo detalla en la figura 51.

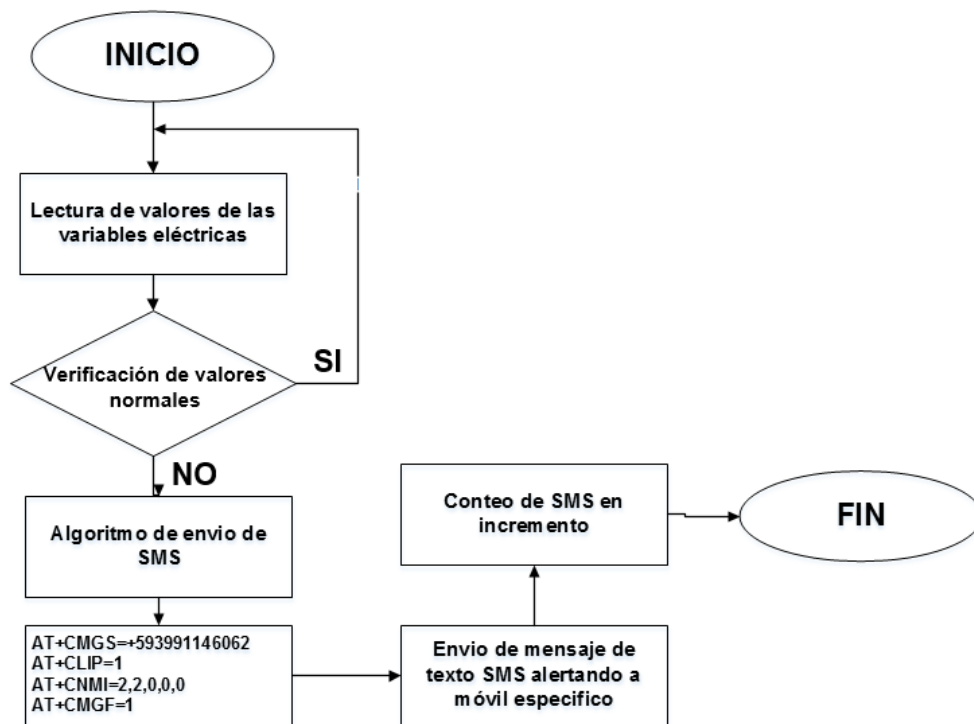


Figura 51. Flujograma del envío de SMS mediante comandos AT
Fuente: El autor

3.2.3.6.5. Elección de operadora móvil

Para utilizar el servicio de mensajería SMS del módulo GSM es necesario utilizar un chip móvil por lo cual se analizará la cobertura de la red 3G de las diferentes operadoras que prestan este servicio en esta zona (Universidad Técnica del Norte).

- **Cobertura**

De acuerdo a las especificaciones antes detalladas y al anexo 2, se especifica que el módulo trabajar en las frecuencias 850, 900, 1800 y 1900 [MHz] respectivamente correspondientes a redes 3G. Por lo cual se verifica si en la zona existe una cobertura óptima y que no genere problemas al establecer una comunicación móvil. Es así que se comparará a las 3 operadoras móviles del Ecuador mediante la plataforma web que presta la Arcotel. El primer análisis se lo obtendrá de la operadora Movistar (ver figura 52) en la cual detalla la cobertura 3G que presenta la zona y su alrededor, lo cual indicaría el módulo no presentaría problemas para establecer una comunicación con esta operadora.

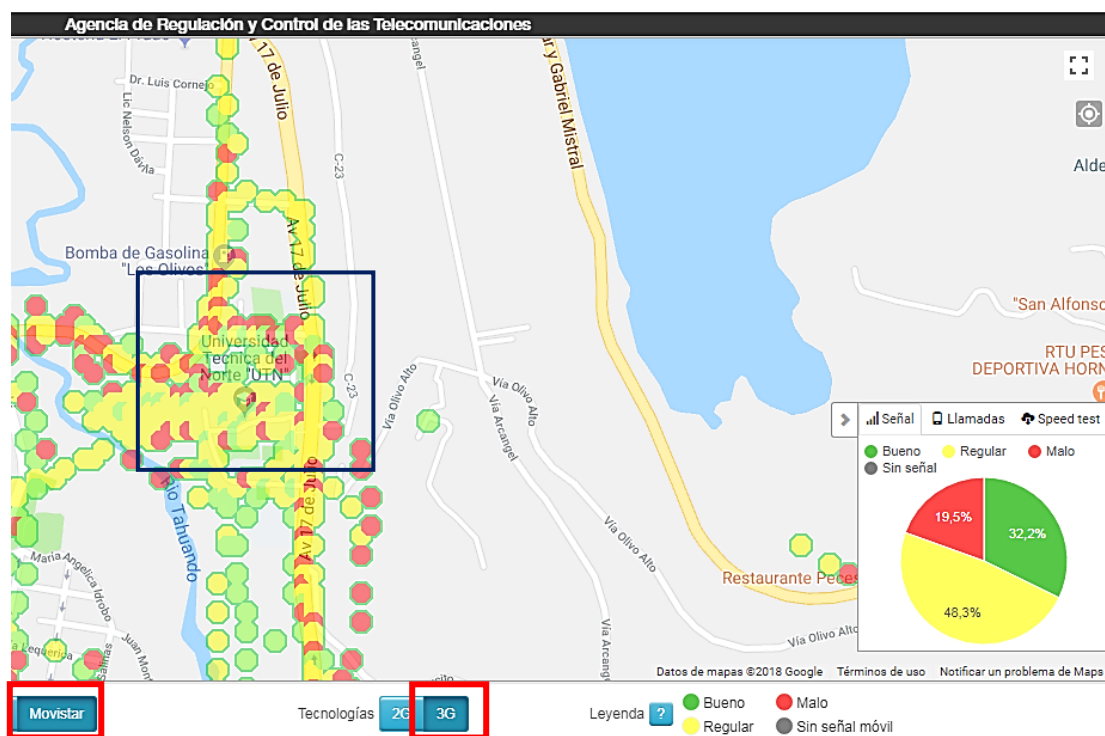


Figura 52. Mapeo de cobertura de una red 3G de la operadora Movistar
Fuente: Arcotel, (Arcotel, 2017)

El siguiente análisis procederá de la operadora Claro (ver figura 53), se establecerá los mismos parámetros para posteriormente establecer si es factible elegir a esta operadora.

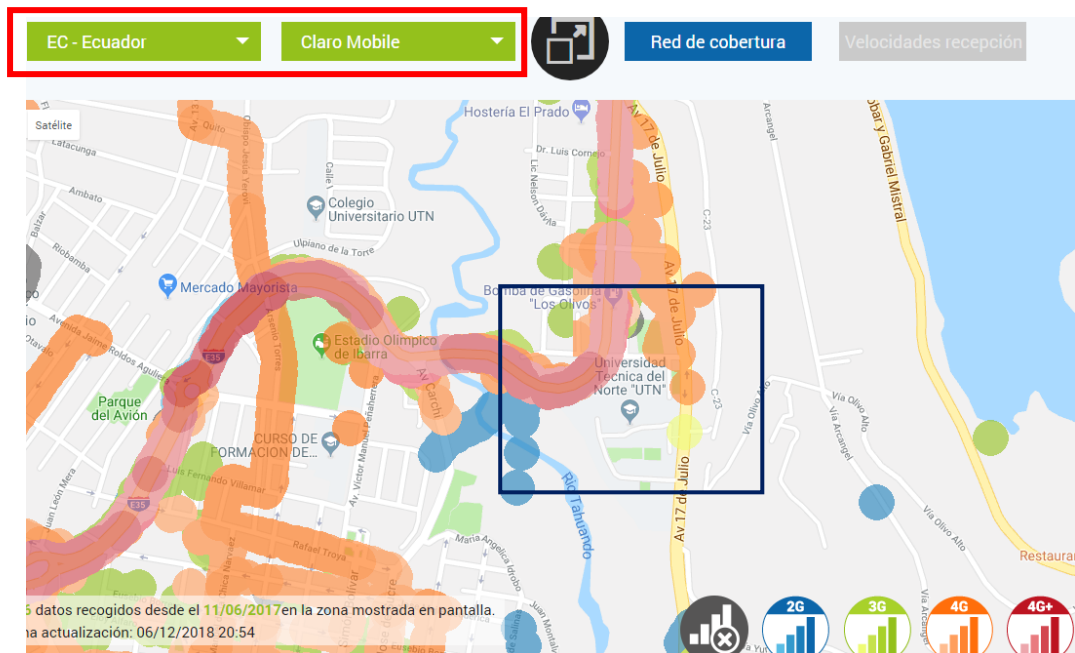


Figura 53. Mapeo de cobertura de la operadora Claro.

Fuente: Arcotel, (Arcotel, 2017)

Y por último se analizará a la operadora CNT (ver figura 54), por lo que registrarán los mismos parámetros para posteriormente establecer si es factible elegir a esta operadora.

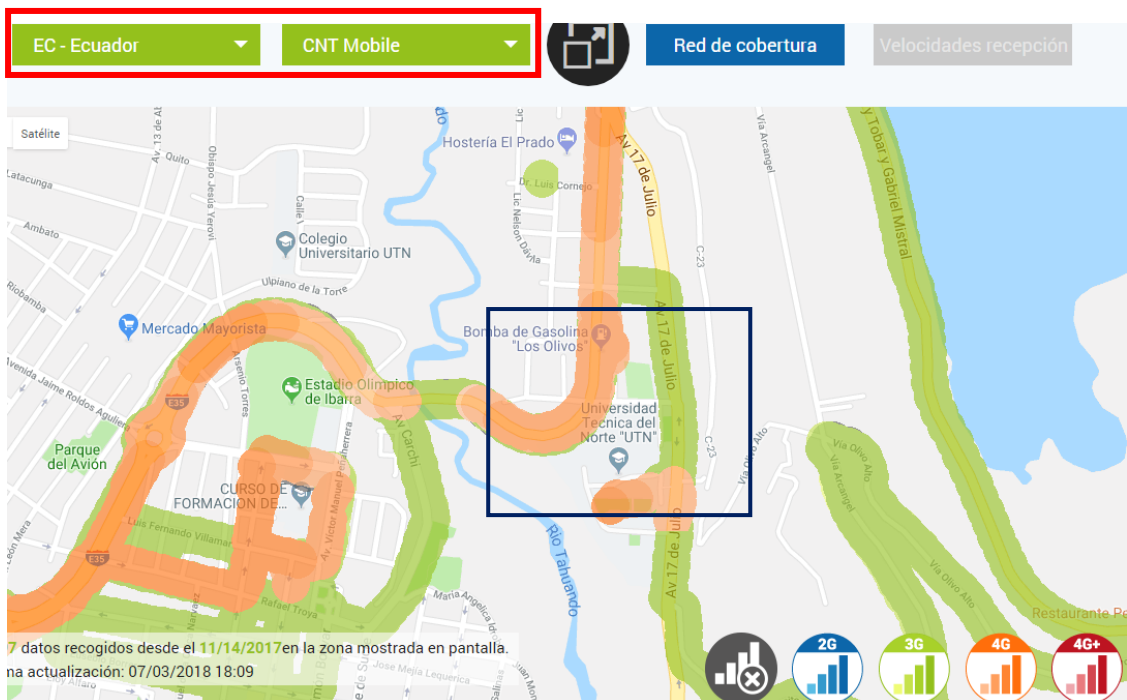


Figura 54. Mapeo de cobertura de la operadora CNT.

Fuente: Arcotel, (Arcotel, 2017)

De acuerdo a los 3 análisis establecidos mediante figuras de mapeo se observa que todas las operadoras tienen cobertura amplia en la zona asignada, pero no todas son de una red 3G sino que están presentes también redes de 4G y 4G+ las cuales no serán compatibles con el módulo GSM propuesto. La única operadora que precisa de esta cobertura ampliamente es la de movistar lo cual no tendría ningún impedimento para establecer conexión alguna, es por eso que será la mejor opción en elegirla.

- **Costo de mensajes de texto**

La información encontrada acerca de los costos unitarios de la mensajería SMS varía dependiendo de la operadora, por lo general estos valores son menos costosos si lo ofertan en un plan de paquetes SMS, pero el inconveniente es que estos planes son para móviles de la misma operadora lo cual sería una desventaja si el usuario posee un servicio móvil de diferente operadora, es por ende que se establece añadir saldo y posteriormente ser descontado si los SMS son utilizados. En la tabla 26 se da a conocer el precio unitario de los SMS a otras operadoras, estos datos han sido recopilados de las páginas web de cada una de las operadoras, específicamente de Claro, CNT y Movistar.

Tabla 26.

Costos unitarios de mensajería de texto

OPERADORA	COSTO SMS	+ IVA
Claro	\$ 0,06	\$ 0,0672
CNT	\$ 0,08	\$ 0,0896
Movistar	\$ 0,06	\$ 0,0672

Valores de los mensajes de texto SMS por unidad que cada operadora presta sin ser parte de la misma operadora.

Mediante la tabla 26 se determina que los más convenientes es la operadora de Claro y Movistar, pero con respecto al mapeo de cobertura el que presta más su servicio óptimamente es Movistar, es por ende que esta operadora será la elegida para prestar sus servicio sin ninguna dificultad.

3.2.3.7. Fuente de alimentación del sistema

La fuente de alimentación es la parte esencial de proyecto ya que va a brindar energía a todos los componentes y placas electrónicas del sistema de monitoreo. Por lo que se decide realizar una fuente regulada de alimentación la cual va a ser alimentada por el mismo tablero eléctrico, pero ahí se tendría una desventaja ya que si se presenta un corte energético todo el sistema dejaría de funcionar, es por eso que adicionalmente se implementará una batería de respaldo para estos casos y así el sistema esté en constante funcionamiento. Cada uno de los elementos que utiliza el sistema de monitoreo consume diferentes niveles de voltaje, corriente y potencia como se aprecia en la tabla 27:

Tabla 27.

Información de consumo de energía de componentes electrónicos

Dispositivo	Corriente	Voltaje	Corriente	Voltaje
Arduino Mega y Socket Ethernet	170 [mA]	$\frac{5 \text{ [V]}}{5 \text{ [V]}}$	170 [mA]	$\frac{9 \text{ [V]}}{9 \text{ [V]}}$
Circuito integrado MAX 485	70 [mA]	5 [V]	70 [mA]	5 [V]
Módulo SIM 800L	70 [mA]	4.4 [V]	400 [mA]	5 [V]
Módulo RTC	25[mA]	4.5 [V]	25 [mA]	4.5 [V]

Tabla de dimensionamiento de la fuente de alimentación tomando en cuenta todos los dispositivos a utilizar y sus consumos eléctricos.

Se utilizará un voltaje óptimo 9 [V] para el funcionamiento del arduino y de los otros componentes ya que entra en un rango estable sin dar problemas de sobretensión. El consumo de corriente del socket Ethernet equivale a 75 [mA], el del circuito integrado MAX 485 es de 70 [mA] y el del SIM 800L es de 70 [mA] en reposo lo que equivale a un total de 170 [mA] con una potencia de 1.53 [W] que utiliza el arduino.

El consumo del MAX 485 está en un rango de 3.7 [V] a 5 [V] (datasheet del producto), posee un consumo de 70 [mA] y con una potencia de 0.35 [W] lo que significa que es lo que consumirá en el momento de iniciar el proceso de comunicación.

Y por último el consumo del SIM 800L es de 5 [V] para trabajar en óptimas condiciones con una corriente de 350 [mA] lo que conlleva a que utiliza una potencia de 1.75 [W], esta corriente es la máxima que utiliza cuando realiza la conectividad con una red GSM y envía mensajes.

3.2.3.7.1. Batería de respaldo

Según registros de la empresa pública Emelnorte, en la Av. 17 de Julio y barrio el Olivo se han suscitado varios cortes energéticos por varios factores como el arreglo de líneas eléctricas, mantenimiento de las subestaciones o por cortes inesperados en las mismas lo que ha producido ausencia de energía en estas zonas, el evento con mayor duración fue de 3 horas un 28 de agosto del 2017 a las 2.25 am. Con esta información se tendría ya una base de 3 horas máximas de ausencia eléctrica que ha presenciado esta zona.

Por lo que se calculará una batería que proporcione un respaldo de energía mayor a 3 horas aproximadamente si el evento se suscitara de nuevo. Por lo que se realizará cálculos de una batería seca estándar con valores de 12 [V] 4 [A]h. Mediante la ayuda de la tabla 28 se establece el consumo total de las placas y módulos a utilizarse, para esto se lo detalla en varios pasos.

- Paso 1: Calcular la capacidad total de la batería, se toma en cuenta el voltaje de la batería que es 12 [V] y la intensidad que proporciona que es 4 [A]h.

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

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

$$C = 48 [W]h$$

- Paso 2: Calcular el consumo que realiza el sistema, se toma en cuenta el voltaje de la batería de 12 [V] y la intensidad que consume en si todo el sistema.

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

$$C_{sist} = 12 [V] * 0.665[A]$$

$$C_{sist} = 7.74 [W]$$

- Paso 3: Obtenido estos valores se puede establecer el tiempo de respaldo de la batería propuesta y establecer si puede respaldar al sistema por completo si suscitara de nuevo el corte energético expuesto anteriormente.

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

$$TiempoRespaldo = \frac{48 [W]h}{7,74 [W]}$$

$$\underline{\underline{TiempoRespaldo = 6,20 h aproximadamente}}$$

En resumen el tiempo de respaldo con una batería de 12 [V] 4 [A]h es de 6 horas y 20 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.

3.2.3.7.2. Circuito regulador para alimentar a la batería de respaldo

El proyecto se ha establecido que trabaje con un voltaje de 12 [V] en los terminales del circuito regulador debido a que ahí será quien esté conectado la batería y constantemente la esté recargando para el respaldo energético del sistema de monitoreo, se trabajará de la siguiente manera (ver figura 55):

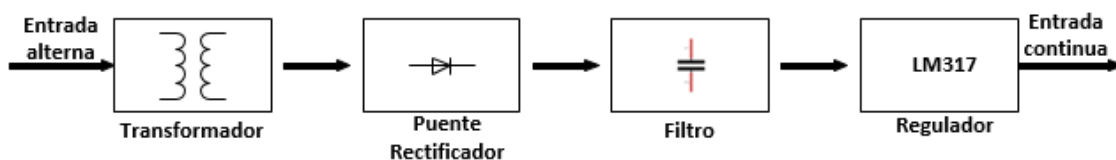


Figura 55. Diagrama de bloques de la fuente de alimentación energética
Fuente: El autor

En este caso se utilizará un transformador de 110 [v] de voltaje alterno a 12 [v] continuos y con una corriente secundaria mayor a 1.5 [A] aproximadamente. Como el valor eficaz del voltaje secundario es:

$$V_{ef.s} = 12 * \sqrt{2} \text{ [V]} \text{ -----} > V_{ef.s} = 17 \text{ [V]}$$

Al momento de tomar las medidas con el multímetro de la parte secundaria del transformador real se obtiene un valor de salida de:

$$V_{pico.s} = 13.6 * \sqrt{2} \text{ [V]} \text{ -----} > V_{pico.s} = 19.2 \text{ [V]}$$

Como el $V_{pico.s}$ debe pasar a través de dos diodos del rectificador, esta reducirá un voltaje de 1.4 [V], entonces el valor pico real de la onda rectificada será aproximadamente de:

$$V_{pico.rect} = V_{pico.s} - 1.4 \text{ [V]} \text{ -----} > V_{pico.rect} = 19.2 - 1.4$$

$$V_{pico.rect} = \underline{\underline{17.8 \text{ [V]}}}$$

Normalmente se trata de conseguir que la tensión de rizo sea aproximadamente el 10% $V_{pico.rect}$ para lo cual se coloca un condensador electrolítico apropiadamente, el valor de este elemento se lo encuentra por medio de la siguiente fórmula detallada en la tabla 29:

Tabla 28.

Fórmula para obtener valor del capacitor rectificador

Fórmula	Detalle
$C = \frac{5 * I}{f * V_{pico.rect}}$	C: Capacitancia del condensador
	f: Frecuencia primaria del transformador
	I: Corriente a la cual trabaja la fuente
	$V_{pico.rect}$: Voltaje pico rectificado

Detalle de la fórmula para la obtención del valor del capacitor que rectifique la señal eléctrica del circuito.

Se desea que el circuito de la fuente trabaje con una intensidad de hasta 1.5 [A] así que este valor será proporcionado en la fórmula de la tabla 29 y así se obtendrá el valor del capacitor.

$$I = 1.5 \text{ [A]}; f = 60 \text{ [Hz]}; V_{\text{pico.rect}} = 17.8 \text{ [V]}$$

$$C = \frac{5 \cdot I}{f \cdot V_{\text{pico.rect}}}$$

$$C = \frac{5 \cdot 1.5}{60 \cdot 17.8}$$

$$\mathbf{C = 7022.47 \text{ uF}}$$

El valor obtenido no existe en los valores comerciales así que se opta por un valor cercano y mediante la tabla de valores comerciales de capacitores se decide usar un capacitor electrolítico de 6800 uF.

En la parte de regulación se utilizará un regulador LM317T que se encargará de reducir el rizado y estabilizar la tensión de salida continua. Con este elemento se podrá variar la tensión de salida desde 1.25 [V] hasta llegar al $V_{\text{pico.rect}}$ aproximadamente y con un rango de ± 1 [V].

$$V_{\text{sal-cc}} = 17.8 \text{ [V]} - 1 \text{ [V]} = \mathbf{16.8 \text{ [V]}}$$

Para encontrar el valor del potenciómetro es necesario colocar un valor que se crea adecuado a $R1 = 330 \Omega$ y que esté disponible en el mercado así que mediante la siguiente ecuación se obtendrá este valor.

$$\frac{R2}{R1} = \frac{V_{\text{sal}}}{1.25} - 1$$

$$\frac{R2}{330} = \frac{16.8}{1.25} - 1$$

$$R2 = 330 * 12.44$$

$$\mathbf{R2 = 4105 \Omega}$$

Con el cálculo realizado se necesita un resistencia variable de 4105 Ω pero la mas cercana a mercado es de 3.9 k Ω y así poder ajustar de acuerdo a las necesidades de la fuente. Y ya con todos los datos necesarios se realiza el diseño del circuito total como se muestra en la figura 56 que alimentará a todas las placas embebidas.

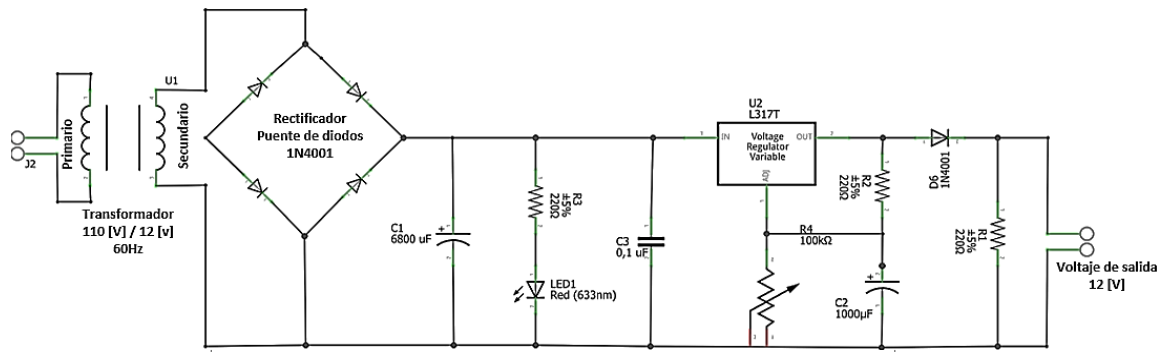


Figura 56. Circuito regulador para alimentación de batería recargable
Fuente: El autor

- Transformador: este componente será quien realice el cambio de corriente alterna a corriente continua de 12 [V].
- IN4004: Puente de diodos, tiene la función de rectificar la señal eléctrica para el circuito electrónico.
- C1: Elemento para el filtro de la señal eléctrica.
- C2: Evita el ruido y que se amplifique junto con la señal de salida.
- C3: Para mejorar el rechazo del rizado del voltaje.
- D6: Este elemento es para proteger el circuito integrado en caso de cortocircuito en la salida.

3.2.3.7.3. Circuito de alimentación regulada

Los elementos electrónicos serán alimentados por la batería recargable, este tendrá un voltaje de salida de 12.8 [V] aproximadamente realizando la medición con el multímetro. Este voltaje está en el rango máximo del arduino pero no es recomendable es por eso que se realizará un circuito de alimentación regulada con un voltaje de 9 [V] que es un valor óptimo permitido y estable.

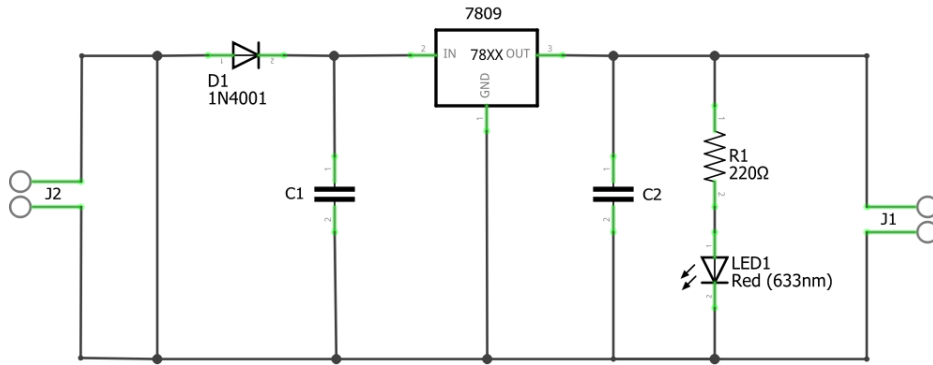


Figura 57. Circuito de alimentación regulada
Fuente: El autor

El diagrama de este circuito es muy simple ya que no hay la necesidad de utilizar muchos elementos (ver figura 57). Se ha colocado un diodo 1N4001 para la protección al regulador de voltaje y así se evitará daños en los capacitores electrolíticos.

Los capacitores C_1 y C_2 tienen el trabajo de actuar como filtros para la eliminación del ruido eléctrico que son presentes en la entrada y salida del circuito, se recomienda utilizar capacitores con un valor de 100 μF como valor óptimo. Además se añadió un led en la salida del regulador 7809 para lograr visualizar e indicar la presencia de energía en esta sección.

3.2.3.7.4. Fuente total del sistema de monitoreo

Con el diagrama del circuito de alimentación y regulación diseñadas ya se procedería a energizar todos los elementos y dispositivos electrónicos que conformarán el sistema de monitoreo. Como se ve en la figura 58, la batería estará en constante recarga y protegida por el circuito de la fuente de alimentación de 12 [V] y a su vez la batería dará energía a los módulos electrónicos, por lo que si hay un corte energético la batería dará respaldo suministrando energía sin interrupciones los componentes del sistema.

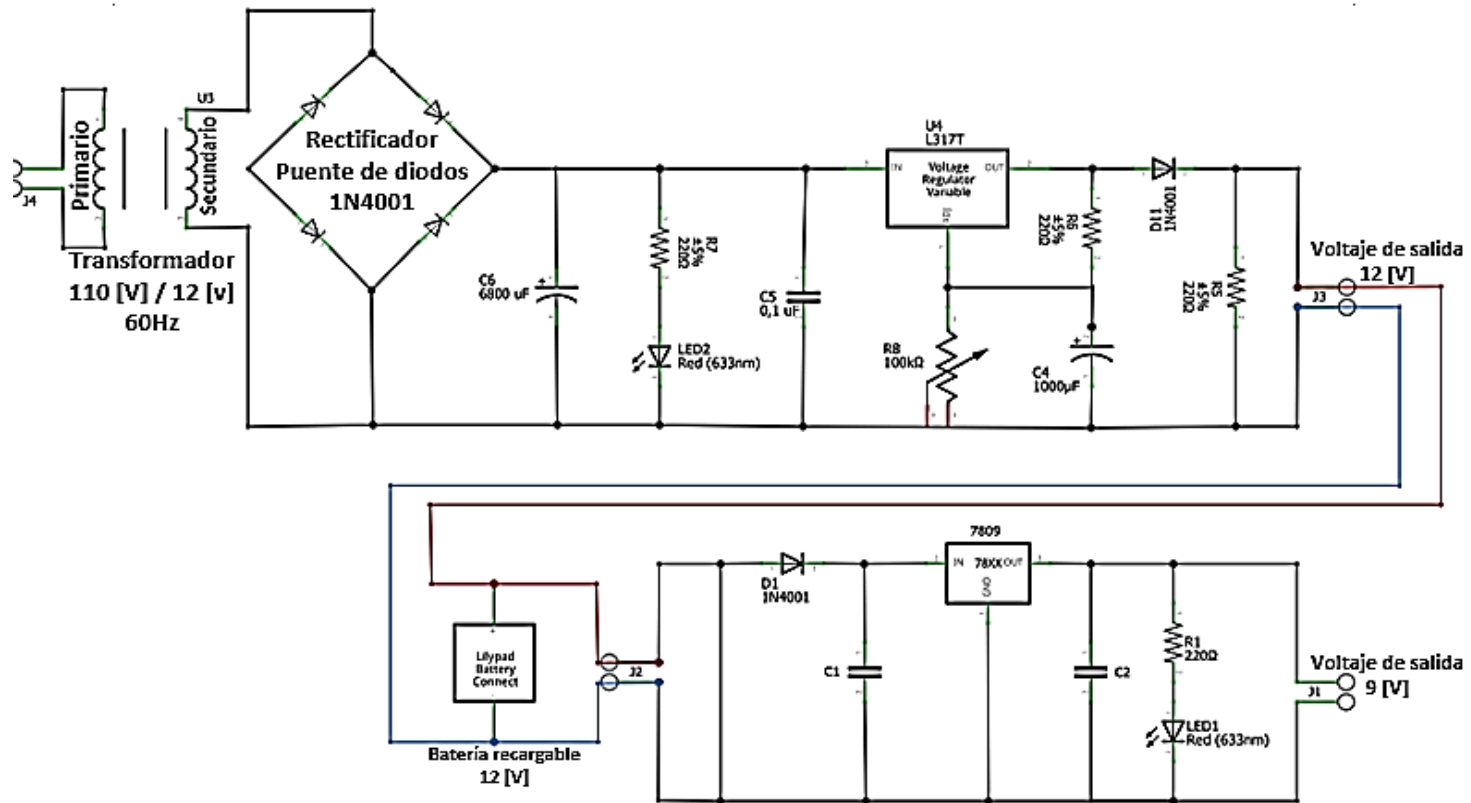


Figura 58. Diagrama de fuente total del sistema
Fuente: El autor

3.2.3.8. Diagrama total de conexión del sistema

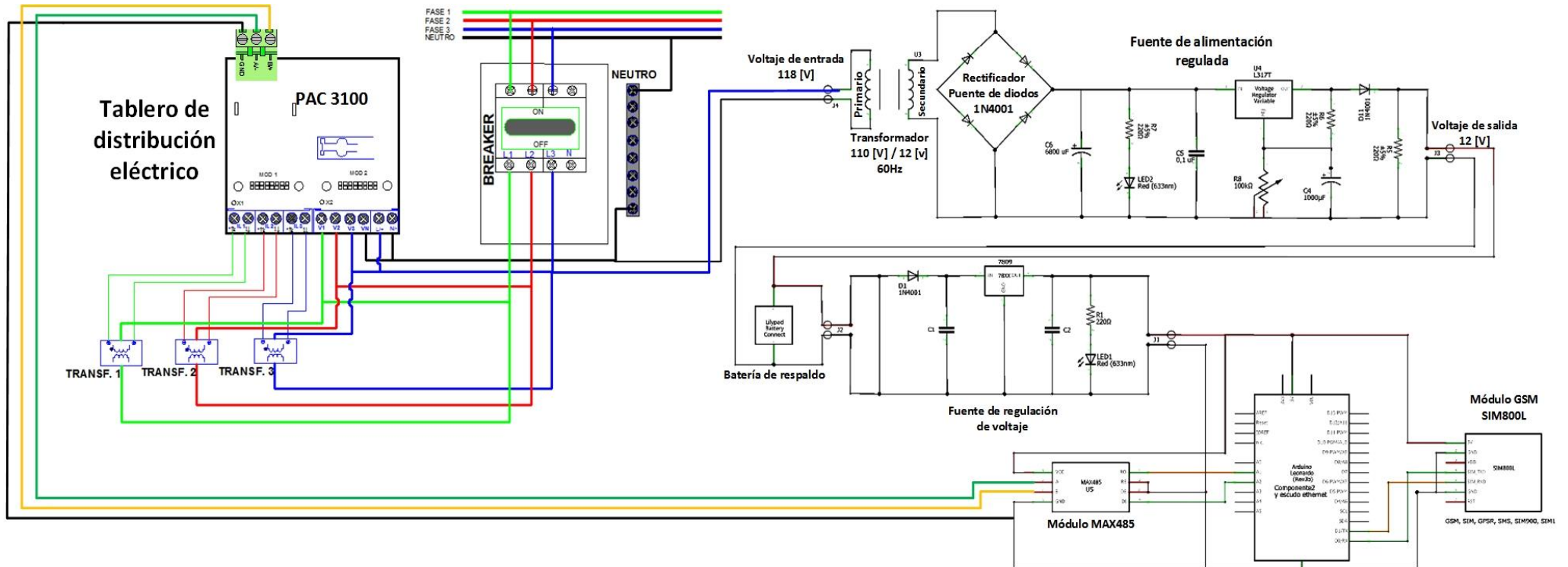


Figura 59. Diagrama total del sistema de monitoreo eléctrico
Fuente: El autor

CAPITULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

4.1. Integración y armado de los elementos equipos electrónicos

Mediante el diseño ya generado y los recursos tecnológicos seleccionados se procederá al armado de los dispositivos electrónicos, el primer paso será poner en funcionamiento al medidor multifuncional de redes eléctricas.

4.1.1.1. Instalación de elementos eléctricos y electrónicos Medidor PAC 3100

El proceso de conexión físico del proyecto será detallado de acuerdo ya a las especificaciones selectas para poner en marcha su funcionamiento. Para lo cual se decidió la colocación de un gabinete metálico eléctrico de la marca ecuatoriana BEAUCOUP con dimensiones de 400x400x250 [mm] que tendrá como función la distribución principal del sistema eléctrico del sitio.

Cada uno de los elementos (PAC 3100, transformadores de corriente, placa de fuente de alimentación, batería recargable, fusibles, módulos electrónicos) será colocado en zonas ya especificadas como se muestra en la figura 60.

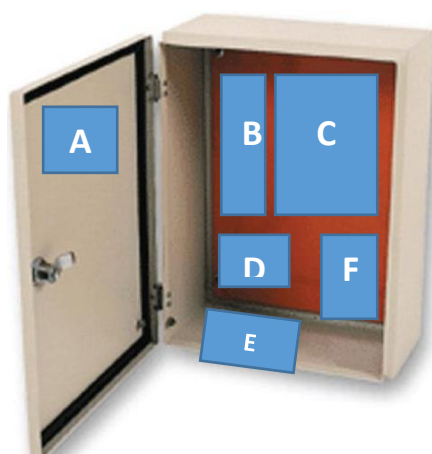


Figura 60. Gabinete eléctrico BEAUCOUP de 400x400x250 [mm]

Fuente: El autor

- Zona A: Sitio en donde se colocará el medidor PAC 3100.
- Zona B: Espacio donde se fijarán todas las protecciones del sistema eléctrico y electrónico (fusibles y breakers).
- Zona C: Área en la que se situarán los transformadores de corriente.
- Zona D: En este sitio se instalará la placa de la fuente de alimentación y de regulación de voltaje.
- Zona E: En esta sección estará ubicada la batería de respaldo del sistema.
- Zona F: Aquí se encontrarán todos los módulos electrónicos que trabajaran en el sondeo del sistema eléctrico.

Una vez ya limitado cada uno de los sitios para cada elemento se procede a su implementación y se comenzará con el gabinete metálico, se realizará un corte centrado en la puerta de este con una medida exacta de 92x92 [mm], luego de esto se deberá insertar el PAC 3100 como se indica en la figura 61.



Figura 61. Medidor empotrado en la puerta del gabinete eléctrico BEAUCOUP
Fuente: El autor

Se comienza a la colocación de cada uno de los conductores tanto para la alimentación como para las lecturas de voltaje, corriente y potencias de las 3 líneas trifásicas (ver literal 3.2.2.1), se ha utilizado para esto un conductor AWG # 20 multifilar para cada una de las borneras existentes, en la figura 62 se observa la conexión de esto.

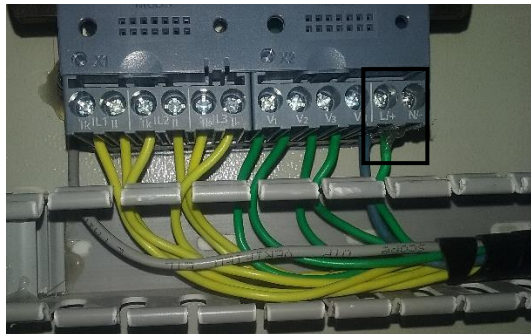
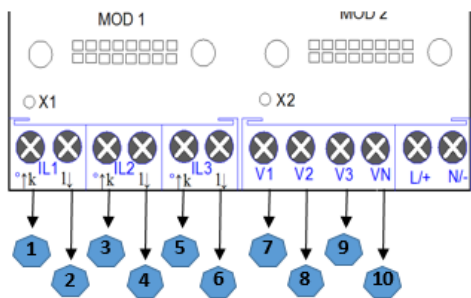


Figura 62. Conexión de voltajes y corrientes de las líneas eléctricas en bornas del PAC 3100
Fuente: El autor

Para el caso de tensión se ha utilizado un tipo de conexión denominado 3P4W que sencillamente es utilizar 4 conductores, 3 de ellos representan las fases y el restante es el neutro de ahí su nomenclatura. Es necesario esta conexión ya que el dispositivo tomará mediciones de valores entre de tensión L-L y L-N.

La alimentación del equipo se la realizó en AC con un suministro de energía de 118 [V] medidos por el multímetro para la comprobación de voltaje. Luego se procedió a la instalación de los transformadores de corriente en la zona ya específica dentro del gabinete BEAUCOUP, en total serán 3 elementos que se instalarán para cada una de las fases como se puede visualizar en la figura 63.

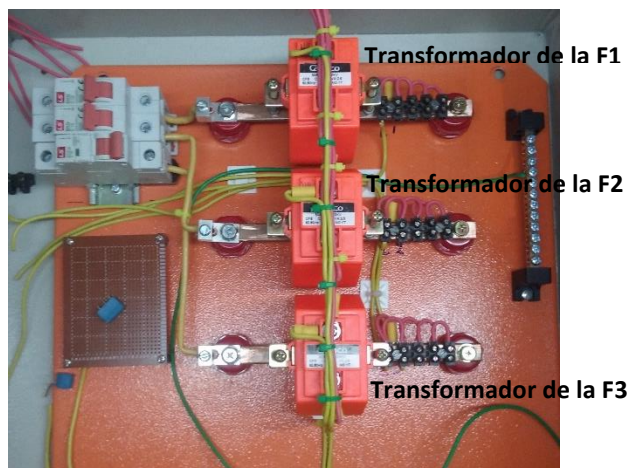


Figura 63. Instalación de transformadores de corriente
Fuente: El autor

La gran ventaja de este transformador es su manera de utilizar, no es necesario abrir el circuito para lograr realizar una medición sino que este tiene la funcionalidad parecida

a la pinza amperimétrica, es por eso que se colocó una barra de cobre en el centro del transformador lo que provoca un flujo eléctrico ya que son óptimos conductores eléctricos como se puede ver en la figura 64, lo cual la bobina del transformador puede recibir esa energía y así dar lecturas de corriente.

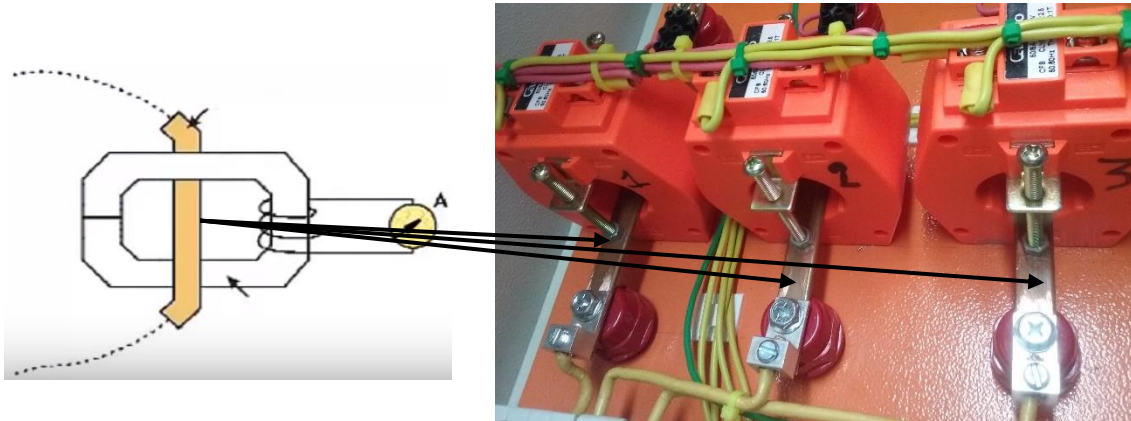


Figura 64. Colocación de barra de cobre
Fuente: El autor

Las borneras de la parte secundaria del transformador poseen nomenclatura cada una de ellas con la letra “k” y “l”, esto detalla que bornera es de entrada y salida para cerrar el circuito, siendo “k - in” y “l - out” respectivamente, deben ser conectadas con el mismo tipo de siglas que presenta el PAC 3100 como se aprecia en la figura 65.

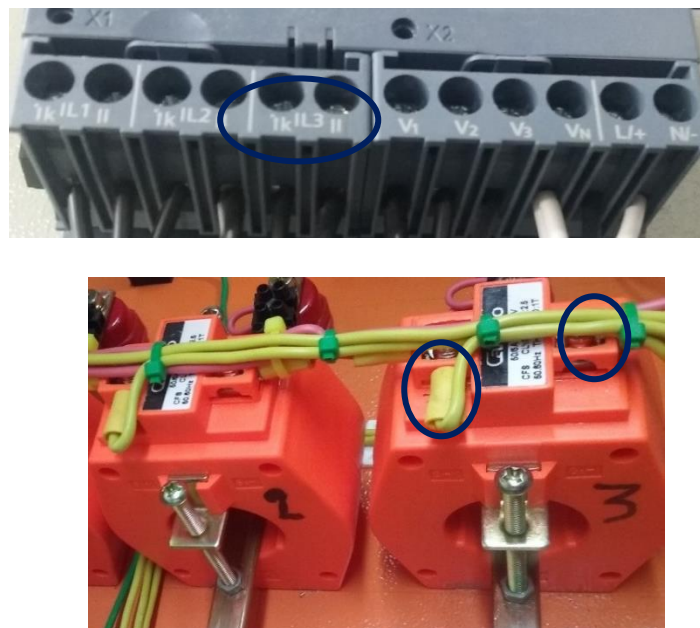


Figura 65. Esquema de conexión de transformador de corriente con PAC 3100
Fuente: El autor

Para las entradas voltimétricas no fue necesario la implementación de elementos adicionales, pero presentó otro requerimiento que fue la colocación de fusibles 10 [A] en las entradas voltimétricas como se muestra en la figura 66, para evitar daños en las entradas de voltaje del dispositivo PAC 3100.



Figura 66. Sección de protección de las entradas voltimétricas
Fuente: El autor

Una vez realizada la conexión para la alimentación del dispositivo y las borneras de lectura de voltaje y corriente se procede a su encendido. Por lo que el paso siguiente es parametrizar el dispositivo con los valores que presenta el sistema eléctrico, este paso se lo realiza por medio de la pantalla del PAC 3100 y de acuerdo a las características eléctricas que presenta el tablero de distribución, los parámetros a configurar son detallados en la tabla 29.

Tabla 29.

Parámetros de configuración del PAC 3100

Parámetros	Valores
Tipo de conexión de tensión	3P4W (activar)
Valores de tensión entrada	220 [V] (activar)
Corriente Primaria	125 [A] (activar)
Corriente Secundaria	5 [A] (activar)

Son parámetros de configuración para el PAC 3100, son necesarios para que la lectura de cada una de las magnitudes sean medidas correctamente sin errores.

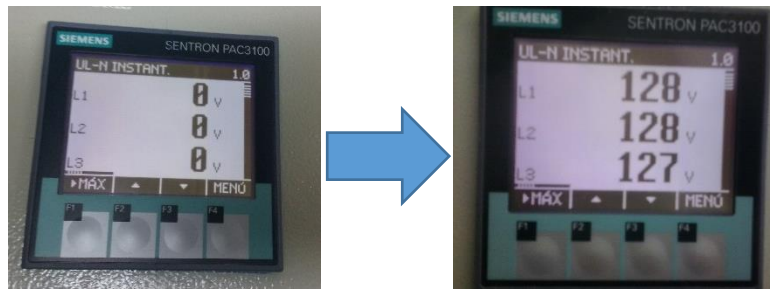


Figura 67. Parametrización y activación de lecturas eléctricas
Fuente: El autor

En la zona E se colocará el circuito de alimentación de la batería de respaldo y el de regulación de voltaje de 12 [V] a 9 [V] para los módulos electrónicos. En cada uno de estos circuitos está incorporado un fusible de protección para evitar algún problema. Como se visualiza en la figura 68 no hay roses con algún elemento eléctrico, cada una de las partes tiene su distancia para evitar problemas eléctricos. Los terminales de cada uno de los circuitos fueron medidos por el multímetro por lo que los resultados fueron:

- Fuente de alimentación: 12,8 [V]
- Fuente de regulación de voltaje : 9,4 [V]

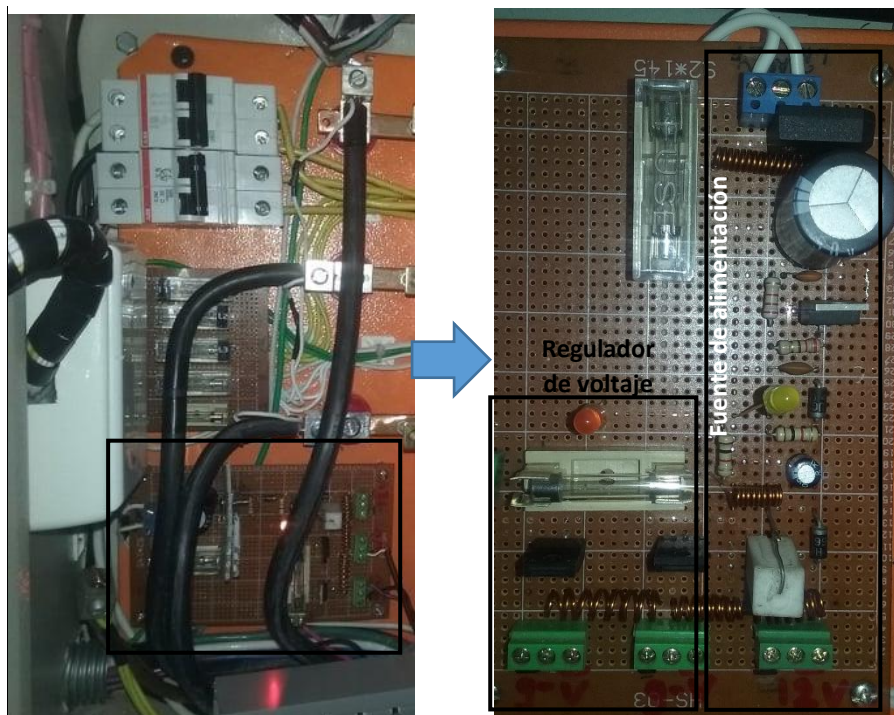


Figura 68. Circuito de fuente de alimentación y regulador de voltaje
Fuente: El autor

4.1.1.2. Comunicación RS-485

La gran ventaja de este dispositivo es su puerto de comunicación, es posible la comunicación mediante la interfaz RS-485 que posee integrada, utiliza el protocolo de comunicación Modbus RTU. Lo ventajoso es la transmisión serial de datos a grandes distancias con altas velocidades sin perder información, además de solo poseer 3 pines para la comunicación como se muestra en la figura 69.

Para esta interfaz se utilizó un cable par trenzado categoría 3, este posee solo 4 conductores de los cuales se seleccionó únicamente 3 y se los distribuyó como muestra la tabla 30.

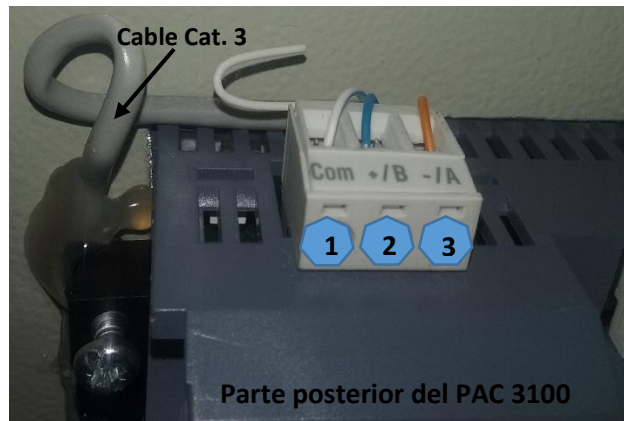


Figura 69. Conexión del cable cat 3 en la interfaz 485

Fuente: El Autor

Tabla 30.

Distribución de conductores para los pines de la Interfaz RS 485

Nº	Bornera	Función	Color Cable
1	Com	Masa o el común	Blanco-azul
2	+/B	Señal B o D1	Azul
3	-/A	Señal A o D0	Tomate

Pines de comunicación que posee la interfaz RS-485 del dispositivo de medición PAC 3100

Antes de utilizar la interfaz es necesario la configuración de los parámetros para la comunicación RS-485 de acuerdo al criterio de la red. Los parámetros son ajustables y por defecto están desactivados o presentan la configuración de fábrica, por ende es

necesario revisar y ajustarlos de acuerdo a la tabla 31. Por lo cual es necesario dirigirse a la pantalla general del PAC 3100 y buscar en la lista la opción de “Comunicación”, una vez elegida se obtendrá la opción para configurar los parámetros, este proceso se lo muestra en la figura 70.

Tabla 31.

Ajustes por defecto de la comunicación Modbus RTU

Ajuste	Valor predeterminado
Dirección del dispositivo	2
Velocidad de transferencia	9600
Formato de datos	8N1
Tiempo de respuesta	0 (automático)

Parámetros por defecto que presenta el dispositivo el cual depende del ambiente modbus que se presente.



Figura 70. Configuración de parámetros de comunicación
Fuente: El Autor

4.1.1.2.1 Conexión del Max 485 con el arduino

En el otro extremo del módulo MAX 485 están los pines de comunicación quienes serán los que se comuniquen con el arduino, estos básicamente son para la transmisión / recepción de la información además de los pines de alimentación del módulo.

Cabe recalcar que la comunicación que realiza con el PAC 3100 no le está suministrando la alimentación para el funcionamiento sino que el arduino es quien le proporciona energía, para activarse por lo cual es necesario un voltaje de 5[V]. En la

conexión realizada intervienen solo dos pines del arduino para la comunicación quienes serán los que transmitan y recepan los datos, los pines utilizados se detallan en la tabla 32 y son visualizados en la conexión final en la figura 71:

Tabla 32.

Distribución de pines de conexión entre Max 485 y arduino

Módulo Max 485	Módulo Arduino
Pin: 5 [V]	Pin: 5 [V]
Pin: Rx	Pin: Tx 1
Pin: Tx	Pin: Rx 1
Pin: GND	Pin: GND

Distribución de pines entre el circuito integrado MAX 485 y el módulo arduino para establecer una comunicación

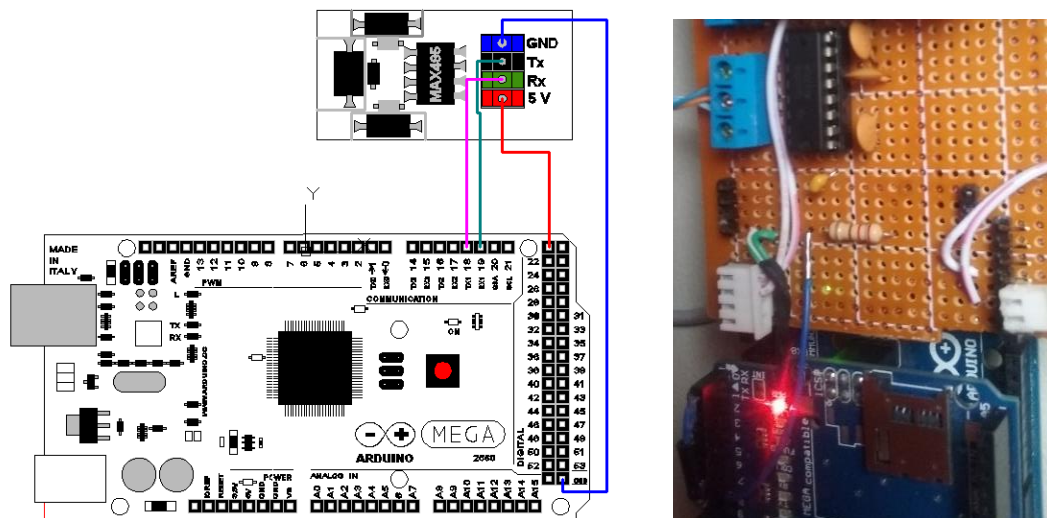


Figura 71. Conexión entre el Max 485 y el arduino mega
Fuente: El autor

4.1.1.3. Lectura de datos del medidor PAC 3100

Para la lectura de este tipo de protocolo fue necesario utilizar una librería acorde a las especificaciones deseadas por lo cual se emplea el fichero ModbusMaster que a su vez posee una librería llamada ModbusRTU. Esta posee una compatibilidad con la información con la que se manipulará. Pero tiene un inconveniente y es que este tipo de instrumentación de marca no logran ser accesibles por completo, para poseer una lectura

legible era necesario adquirir el software propietario lo que conllevaba a que se tenía que pagar una membresía mensual (ver figura 72) ya que la prueba solo duraba 15 días.



Figura 72. Software powerconfig propietario de Siemens
Fuente: El autor

Las lecturas que realizaba el equipo no eran tan legibles, estas lecturas regresaban información de tipo decimal (ver figura 73-a) que era algo muy diferente a la información que proyecta la pantalla del PAC 3100 (ver figura 73-b).

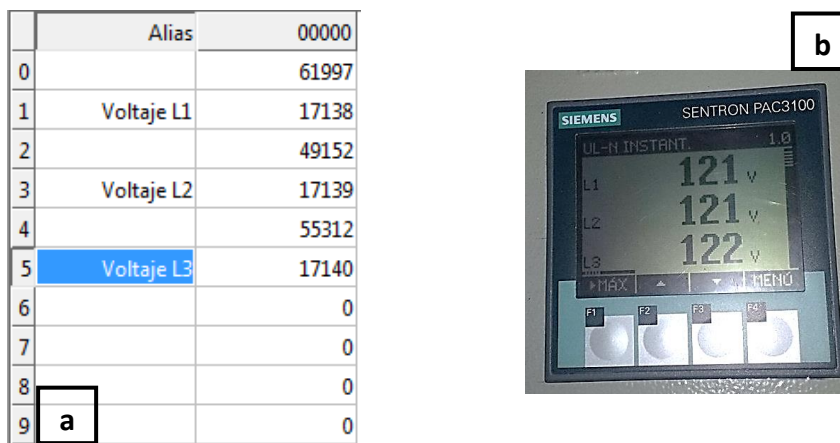


Figura 73. Valores receptados de la lectura de variables eléctricas
Fuente: El autor

Por lo que se decide establecer un algoritmo para cambiar los valores de la figura 73-a a información legible como se muestra en la figura 73-b, se establecen parámetros de cómo está estructurado esta información. De acuerdo con el anexo 1 se menciona el direccionamiento (offset) de cada una de las magnitudes medidas como por ejemplo el

voltaje de cada una de las líneas eléctricas utiliza dos registros para determinar su valor de lectura. Es decir que para la tensión de L1 se toma en cuenta el registro 0 y 1 (ver figura 74), para la tensión de L2 es el registro 2 y 3 y así sucesivamente cada magnitud tiene su respectivo registro, además indica el formato que debe poseer la información para lograr ser interpretados como se visualiza en el medidor PAC 3100.

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

Figura 74. Registros de magnitudes de medición

Fuente: El autor

De acuerdo al requerimiento anterior es necesario realizar una conversión del dato nativo a un dato de tipo float por lo que se decide utilizar la representación IEEE 754 (aritmética en coma flotante). Este formato establece dos formatos básicos, el de precisión simple y precisión doble y se lo usa para la representación de los números reales en la computadora digital.

Para verificar el formato a utilizar (32 bits-simple o 64 bits-doble) es necesario realizar una conversión del dato nativo a hexadecimal que es la manera más fácil de comprobar. La estructura del formato float está conformado por una parte entera y una decimal, para formar este dato es necesario ver la tabla de offset del equipo de medición (ver anexo 1) e identificar las variables a medir. Se elige el registro de la variable y demás se debe tomar en cuenta el registro anterior, por ejemplo en la figura 74 se especifica que el registro para la tensión L1-N es el 1 pero además se elige el anterior que es el 0. Los valores de cada registro son colocados con dirección de izquierda a derecha, es decir que el registro con el valor más significativo va primero (izquierda), cabe recalcar que para establecer el valor más significativo se debe tomar en cuenta el número de registro más no el valor de lectura que presenta ese registro, en la tabla 33 se establece los valores de cada offset.

Tabla 33.

Tabla de registros del voltaje de L1

Offset	Valor Decimal
1	17138
0	61997

Especificación de registros offset y lectura en formato decimal de la variable de voltaje presente en la L1.

El paso 1 es realizar una conversión de formato decimal del offset del registro 1 a formato hexadecimal, el procedimiento se basa en dividir el número decimal entre 16 hasta que llegue a un límite en el cual no se pueda dividir más:

$17138 \div 16 = 1071.125$	se separa la parte decimal	$0.125 * 16 = 2$
$1071 \div 16 = 66.9375$	se separa la parte decimal	$0.9375 * 16 = 15 = F$
$66 \div 16 = 4.125$	se separa la parte decimal	$0.125 * 16 = 2$
4	es el cociente sobrante	4

Como el último cociente ya no es divisible para 16, esta pasa inmediatamente a ser parte de la notación hexadecimal final, el primer dígito del resultado hexadecimal es el cociente de la última división realizada y así seguir un orden ascendente para colocar el resto de los dígitos por lo que 17138 en formato decimal tiene como resultado **42F2** mediante la conversión a formato hexadecimal.

El paso 2 es el proceso de conversión decimal a hexadecimal de la lectura del registro offset 0.

$61997 \div 16 = 3874.8125$	se separa la parte decimal	$0.8125 * 16 = 13 = D$
$3874 \div 16 = 242.125$	se separa la parte decimal	$0.125 * 16 = 2$
$242 \div 16 = 15.125$	se separa la parte decimal	$0.125 * 16 = 2$
15	es el cociente sobrante	15 = F

Para formar la notación hexadecimal final se procede a realizar el procedimiento anterior, por lo que 17138 en formato decimal tiene como resultado **F22D** mediante la conversión a formato hexadecimal.

Una vez realizada la conversión se procede a la verificación del resultado y establecer si pertenece a un formato simple (32 bits) o doble (64 bits). Por lo cual se ordena los resultados obtenidos en la operación anterior como se detalla en la tabla 34.

Tabla 34.

Tabla de verificación de números de bits utilizados

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

Verificación del número de bits que posee la cadena para asignar formato de precisión del estándar IEEE754

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:

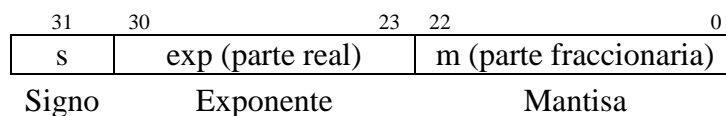


Figura 75. Distribución de bits del método simple IEEE 754

Fuente: El autor

Matemáticamente esto funciona dando un número real “s” que representará el signo de acuerdo al bit presente en esa casilla, esto a su vez será multiplicado por el valor de su

mantisa (es el número normalizado de tipo notación científica) y por último es multiplicado por el valor resultado de la base con representación elevada al valor del exponente sesgado.

$$\text{Signo(s).mantisa} * 2^{\text{exp}_s} \quad (\text{I})$$

$$\text{Exp}_s = 2^{n-1} - 1 \quad (\text{II})$$

Como ejemplo para el caso de precisión simple de 32 bits en el cual se toma un bits para el signo, 8 bits para la parte del exponente y los 23 bits restantes para la mantisa se puede describir que:

- El bit de signo es el más significativo: 0 positivo / 1 negativo.
- El valor del exponente es representado sesgando el valor dado por la fórmula descrita en la ecuación (II). Para el caso simple sería:

$$\text{exp}_s = 2^{(8-1)} - 1 = 2^7 - 1 = 127. \quad (\text{III})$$

- La mantisa se representa en parte fraccionaria 1.xxxxx en donde el primer bits “1” no es fraccionario pero se asume y no se representa dentro del formato.

Una vez entendido el proceso a seguir se procede a la conversión que se lo detallará paso a paso para establecer y conocer la conversión y cambios que se produce en este tipo de formato. Cabe recalcar que para realizar la distribución de este método es necesario la conversión al formato de base 2 (binario).

Paso 1: Realizar la conversión a binario del valor hexadecimal obtenido en la lectura del voltaje de la línea eléctrica 1 como se muestra en la figura 76.

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

Figura 76. Conversión de base 16 a base 2

Fuente: El autor

Paso 2: Asignar la distribución para los bits de signo, exponente y mantisa presentes en la figura 77.

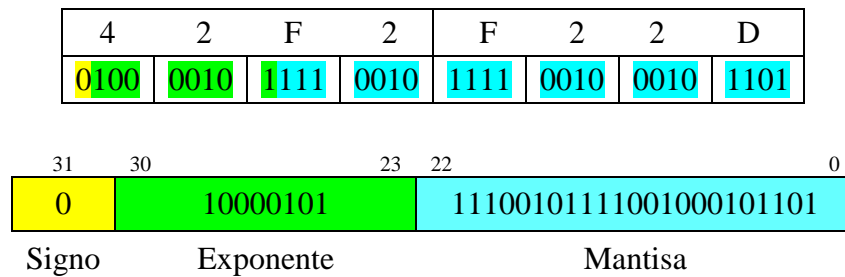


Figura 77. Distribución de bits para el formato IEEE 754
Fuente: El autor

Paso 3: Se encuentra el valor real por medio de los valores exponenciales utilizando la ecuación (II), posterior se suman los resultados de los valores exponenciales en donde exista un 1 lógico, esto se lo detalla en la figura 78:

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 78. Distribución de bits de la parte exponencial
Fuente: El autor

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

$$\text{Exp} = 133$$

$$\text{Valor real} = 2^{\text{exp} - \text{exps}}$$

$$\text{Valor real} = 2^{133 - 127}$$

$$\text{Valor real} = 2^6 = \underline{\underline{64}}$$

Paso 4: 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 35 se detalla el proceso realizado.

Tabla 35.

Tabla detallada 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

Proceso que se realiza para obtener el valor fraccionario de la mantisa de los 23 bits asignados

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

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

$$\text{Mantisa} = \underline{\underline{0,898015618}}$$

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:

$$\text{Mantisa} = \underline{\underline{1,898015618}}$$

Paso 5: 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

$$\text{Voltaje L1} = 64 * 1,898015618$$

$$\text{Voltaje L1} = \underline{\underline{121,472999552 \text{ [V]}}}$$

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.

Ya que la librería Modbus RTU utilizada en el arduino no presento este tipo de información se realizó métodos y rutinas aplicando el método de precisión simple IEEE 754 y así obtener la información deseada como se muestra en la figura 79 mediante algoritmos de programación.

```

Setup Complete!
// TENSION LINEA UNO
42f2
d0a0
42f2d0a0
//////////*****//////////
0100
0010
1111
0010
0100001011110010
133 ←
6 ←
64.00 ←
0.89 ←
121.02 ←

```

Figura 79. Distribución de bits de la parte exponencial
Fuente: El autor

Se realizó el mismo proceso mediante algoritmos de programación lo cual proporcionó resultados similares con respecto al proceso de conversión IEEE 745 realizada anteriormente y tener como resultado un dato de tipo float como se visualiza en la figura 79, primeramente se cambió de formato de base 10 a base 16 para ver qué tipo de método a de utilizar (32 bits – simple o 64 bits - doble). Luego el código realiza otro cambio de formato pero esta vez a base 2 de cada uno de los bytes que presentes y los reagrupa al final en una cadena binaria.

Posteriormente procede al desarrollo de encontrar el valor exponencial acorde al paso 3 (flecha negra) y una vez que se obtiene el dato se le resta 127 dando así el exponente (flecha azul), para obtener el valor real entero (flecha naranja). El proceso para encontrar la mantisa descritas en el paso 4 da como resultado el valor señalado con la flecha amarilla y una vez realizada la operación descrita en el paso 5 se obtiene el valor de tipo float señalado por la flecha verde. Así demostrando que el código del método IEEE 754 ha tenido éxito en la recopilación y conversión de formatos de información presente en la comunicación con el medidor digital PAC 3100.

- **Monitoreo del tráfico de comunicación**

Mediante el tráfico presente en la comunicación se puede observar la trama de petición que el maestro envía al esclavo y la respuesta que envía el esclavo al maestro (Ver figura 80).

```
001260-Rx:0A 04 14 42 FC A2 97 42 FA 85 7E 42 F8 19 0A 43 5A 15 9F 43 58 56 29 37 55
001261-Tx:0A 04 00 01 00 0A 20 B6
001262-Rx:0A 04 14 42 FC C3 C0 42 FA E0 7C 42 F8 25 DB 43 5A 55 EE 43 58 73 64 6C 4B
001263-Tx:0A 04 00 01 00 0A 20 B6
001264-Rx:0A 04 14 42 FC EA 10 42 FB 0C 27 42 F8 23 A9 43 5A 7A D9 43 58 89 60 32 94
001265-Tx:0A 04 00 01 00 0A 20 B6
001266-Rx:0A 04 14 42 FC E5 5F 42 FA FC 40 42 F8 1A 3C 43 5A 73 57 43 58 87 5D 50 02
001267-Tx:0A 04 00 01 00 0A 20 B6
001268-Rx:0A 04 14 42 FC E9 C7 42 FA E0 36 42 F8 02 2E 43 5A 72 80 43 58 67 72 FA 94
```

Figura 80. Tráfico de la información
Fuente: El autor

- **Interpretación de la información**

Como se aprecia en la figura 80, la información de petición y respuesta se está negociando e interactuando y acorde a lo descrito sobre la trama modbus RTU se está cumpliendo el formato de los datos, la trama de petición que envía el maestro hacia el esclavo presenta las siguientes características que son detalladas en la tabla 36:

Petición del máster (Tx)

Nº Esclavo:

Código Operación:

Dirección del registro:

Nº de datos que se desea leer: “*máx. 128 datos*”

CRC (16):

Tabla 36.

Descripción de la petición del maestro enviado al esclavo

Petición ---> Tx: 0A 04 00 01 00 0A 20 B6	
ID Esclavo	0A _H = 10
Función de lectura	04 _H = 04
Registro donde se comenzará la lectura	00 01 _H = 01
Número de registros a leer	00 0A _H = 10
CRC	20 B6 _H

Descripción de la trama modbus RTU generada por el maestro y sus diferentes campos que lo comprenden

Mientras que el formato de la trama de respuesta que es enviada desde el esclavo hasta el maestro posee las siguientes características que son detalladas en la tabla 37:

Respuesta del esclavo

Nº Esclavo

Código Operación:

Nº de bytes leídos:

Datos: “máx. 128 datos”

CRC (16)

Tabla 37.

Descripción de respuesta del esclavo al maestro

Respuesta		
Rx: 0A 04 14 42 FC C3 C0 42 FA E0 7C 42 F8 25 DB 43 5A 55 EE 43 58 73 64 6C 4B		
Descripción	Valor Hexadecimal	Descripción
ID Esclavo	0A _H	10
Función de lectura	04 _H	4
Número de bytes recibidos	14 _H	20 bytes recibidos
Voltaje L1	42 FC C3 C0 _H	126.382
Voltaje L2	42 FA E0 7C _H	125.438
Voltaje L3	42 F8 25 DB _H	124.074
Voltaje L1-L2	43 5A 55 EE	218.336
Voltaje L1-L3	43 58 73 64	216.451
CRC	B4 E4 _H	27723

Descripción de la trama modbus RTU generada por el esclavo y sus diferentes campos que lo comprenden

De acuerdo a estos datos es fácil interpretar la información dada, esto significa que del esclavo N° 10 con una función de lectura de registros de entrada (4x) se han recibido 20 bytes de datos pero se sabe que para la lectura de valores del PAC3100 se utiliza 2 registros offset para cada valor y que cada registro está compuesto por 2 bytes que hace un total de 4 bytes para cada valor, entonces de los 20 bytes obtenidos en la trama de respuesta se tendrá exactamente 5 valores de lectura que el medidor PAC 3100 ha proporcionado.

4.1.1.3.1. Servidor Web Arduino

Para el desarrollo de esta parte es necesario la utilización del módulo Ethernet W5100. Por medio de este se obtendrá una conexión local al servidor. Este módulo debe ser montado en el arduino Mega conectando el bus SPI respectivamente de cada uno para tener una comunicación entre sí.

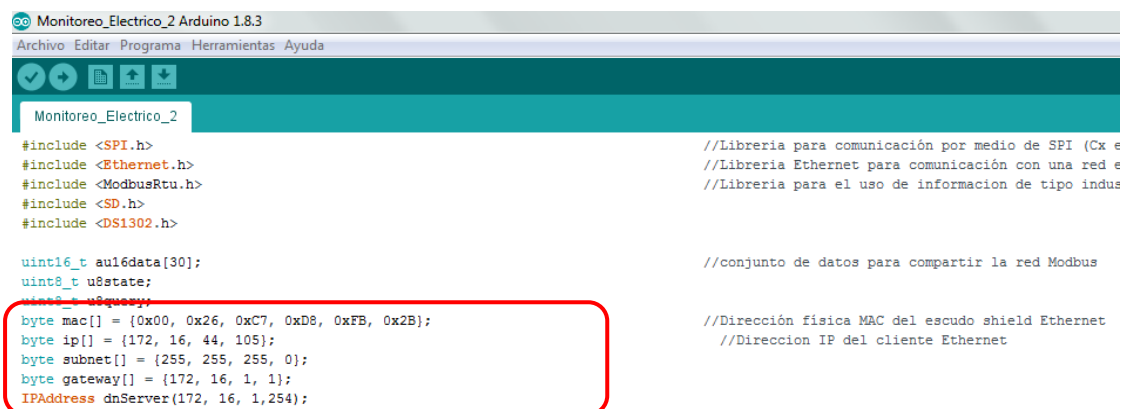
Conociendo estos parámetros se realiza la asignación de una dirección IP al módulo Ethernet respectivamente del rango del sitio en el cual se va a implementar, en la programación además se asignan otras variables para ser parte de la red como se detalla en la tabla 38 y en la figura 81 se visualiza su integración al código de programación.

Tabla 38.

Asignación de parámetros de red

Parámetros	Detalle
IP Asignada al módulo Ethernet	172.16.44.105
Puerto utilizado	8081
Máscara	255.255.255.0
Puerta de enlace	172.16.1.1
DNS	172.16.1.254

Parámetros de red determinados para establecer una conexión en la red Ethernet del sitio.



```
Monitoreo_Electrico_2 Arduino 1.8.3
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Monitoreo_Electrico_2
#include <SPI.h> //Librería para comunicación por medio de SPI (Cx e
#include <Ethernet.h> //Librería Ethernet para comunicación con una red e
#include <ModbusRtu.h> //Librería para el uso de informacion de tipo indus
#include <SD.h>
#include <DS1302.h>

uint16_t aul6data[30]; //conjunto de datos para compartir la red Modbus
uint8_t u8state;
uint8_t u8query;
byte mac[] = {0x00, 0x26, 0xC7, 0xD8, 0xFB, 0x2B}; //Dirección física MAC del escudo shield Ethernet
byte ip[] = {172, 16, 44, 105}; //Dirección IP del cliente Ethernet
byte subnet[] = {255, 255, 255, 0};
byte gateway[] = {172, 16, 1, 1};
IPAddress dnServer(172, 16, 1, 254);
```

Figura 81. Variables declaradas para el Servidor Web

Fuente: El autor

En la plataforma de arduino se trabaja con la librería Ethernet, esta solo se relaciona con la capa aplicación del modelo TCP ya que las otras capas ya vienen implementadas por el hardware que se utilizará correspondientemente.

- **HTTP request**

Cuando un cliente HTTP realiza una petición HTTP (request) el servidor da una estructura determinada para que sea entendida por el servidor arduino y logre realizar la acción requerida como se muestra en la figura 82. La estructura que tiene esta cabecera precede por los siguientes campos:

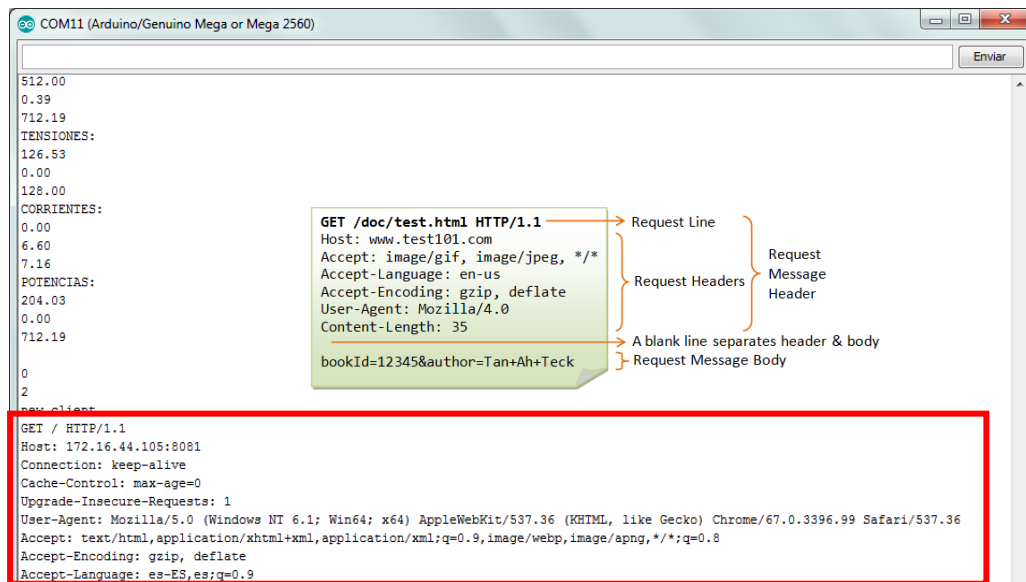


Figura 82. Estructura de HTTP request
Fuente: El autor

- **HTTP response**

Después de realizar la petición, el servidor toma esto e interpreta para su posterior paso de responder con un mensaje y así finalizar con la intercomunicación entre cliente y servidor como se visualiza en la figura 83.

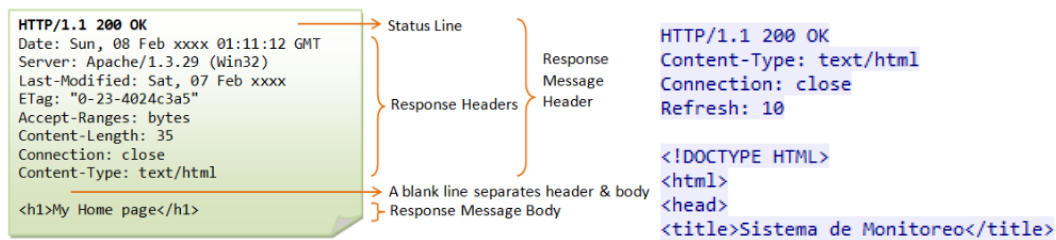


Figura 83. Estructura de HTTP response
Fuente: El autor

- **Página Web**

Mediante la programación realizada (ver anexo 6) se implementó una página web con programación HTML en el código del arduino para plasmar los valores receptados de cada una de las líneas trifásicas. Como se puede visualizar en la figura 84 de la página consta de 4 secciones en las cuales está dividida de la siguiente manera:

- Medición de voltaje: Son las lecturas de las 3 líneas eléctricas.
- Medición de corriente: Son los valores que son receptados de la lectura de los 3 transformadores de corriente que presenta cada línea eléctrica.
- Medición de potencia: Las lecturas de potencia que presentan cada una de las líneas eléctricas del tablero de distribución eléctrica.
- Tiempo de respaldo UPS: Este valor se basa en la carga que se está generando en el UPS del sitio, esta opción se verificaría al momento de generarse algún corte energético en el sitio. Adicional se presenta en la parte inferior del mismo recuadro un contador de mensajes que se han enviado.



Figura 84. Valores recibidos por el servidor Web

Fuente: El autor

4.1.1.4. Acoplamiento del módulo SIM800L para la comunicación GSM

Esta es la etapa que enviará las notificaciones de alerta y dando aviso a la persona encargada que ha surgido un problema en el área en el cual esta implementada el sistema de monitoreo.

4.1.1.4.1. Ranura SIM Card

El módulo posee una ranura para la colocación de un chip móvil tipo micro Sim. Se utilizará una Sim CARD de la operadora Movistar (ver figura 85) que trabaja en la frecuencia de 850 [MHz] y los 1900 [MHz] correspondiente al número +593995087931.

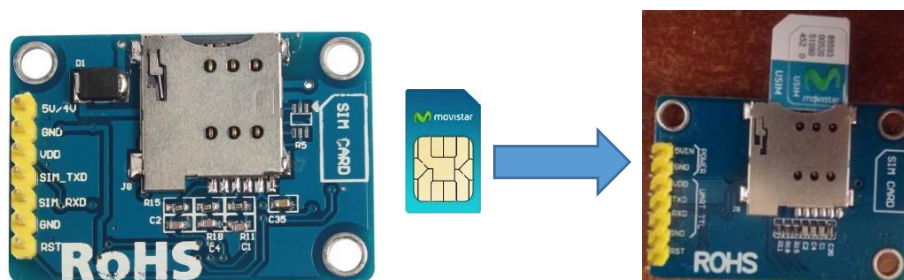


Figura 85. Colocación del chip en la ranura SIM800L

Fuente: El autor

4.1.1.4.2. Conexión del módulo GPRS SIM 800L con arduino

La implementación física de esta parte es muy sencilla ya que este módulo no posee muchos pines. La asignación de pines con el arduino se detalla en la tabla 39.

Tabla 39.

Asignación de pines entre SIM800L y arduino

Asignación de pines de conexión	
PIN	Detalle
SIM800 Vcc (5v)	Fuente de alimentación 3.3 [V] a 4.7 [V]
SIM800 GND	Conexión a GND
SIM800 SIM_TXD	Conexión a Rx2 del arduino
SIM800 SIM_RXD	Conexión a TX2 del arduino
SIM800 RST	Pin de reseteo del módulo
Ranura SIM CARD	Insertar mini SIM de cualquier operadora

Asignación de pines de conexión para la comunicación entre el SIM y el arduino.

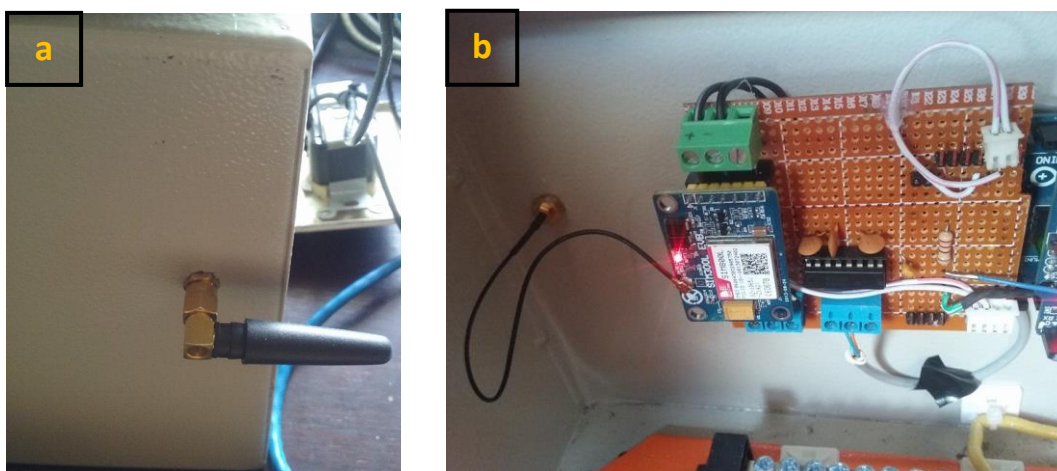
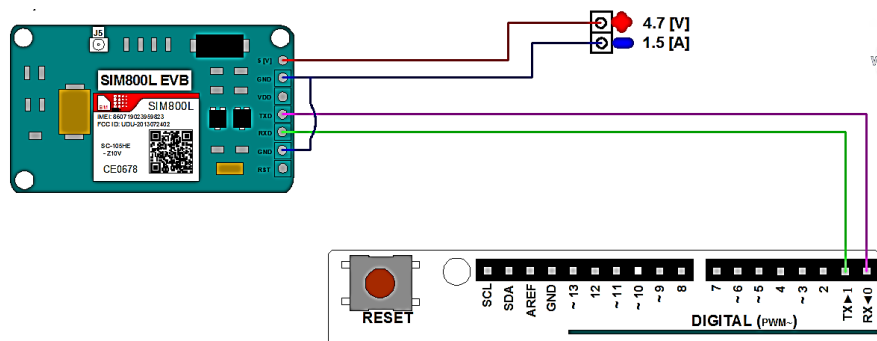


Figura 86. Colocación y conexión entre arduino y el módulo SIM800L en el gabinete metálico

Fuente: El autor

El módulo es colocado al lado izquierdo del gabinete eléctrico, en la figura 86-a se establece la ubicación de la antena del módulo para establecer conectividad mientras que la figura 86-b establece la conexión de este con el arduino. Un dato muy importante sobre la fuente de alimentación del módulo SIM, es que se debe utilizar una fuente de alimentación con un rango de 3.3 [V] a 5.4 [V] pero que arroje una corriente de hasta 1.5 [A]. Esto se debe a que este módulo llega a picos de hasta 1.7 [A] debido al proceso de conexión y envío de información a las diferentes frecuencias móviles utilizadas en Ecuador de una red 3G.

4.1.1.4.3. Prueba de funcionamiento del envío de la notificación SMS

Se realizó una prueba de funcionamiento para probar las notificaciones de envío de SMS, se efectuó un corte de energía de la línea 1 y línea 2. Esta anomalía se conocerá en el centro de procesamiento (arduino) el cual generará el SMS de notificación que será enviada.



Figura 87. Funcionamiento: PAC 3100 con líneas en 0
Fuente: el autor

La información de la carencia de energía en dos de las tres fases se receptorá en el módulo maestro, este ejecutará el método de programación el cual comenzará el proceso de verificación de las variables de lectura obtenidas. El chequeo da como resultado a la L1 y L2 sin voltaje (ver figura 87 y 88) lo cual realiza el proceso de envío de SMS de que

las líneas mencionadas no presentan energía y así conociendo el problema a la persona encargada del sitio.

```
TENSIONES:  
0.00  
0.00  
118.02  
CORRIENTES:  
0.00  
0.00  
0.10  
POTENCIAS:  
0.00  
0.00  
0.44  
0  
SMS Sent!  
FALLA EN EL SISTEMA ELECTRICO - LINEA 1  
SMS Sent!  
FALLA EN EL SISTEMA ELECTRICO - LINEA 2  
MENSAJES USADOS: 2 DE 30 SMS TOTALES
```

Figura 88. Figura Proceso de verificación para envío de SMS
Fuente: El autor

Una vez generado la notificación, el maestro pasará al algoritmo de envío del SMS y buscará el número de la persona a la que sea asignada, el módulo GSM comenzará a realizar una conexión a una red 3G y posterior enviará el mensaje como se muestra en la figura 89.

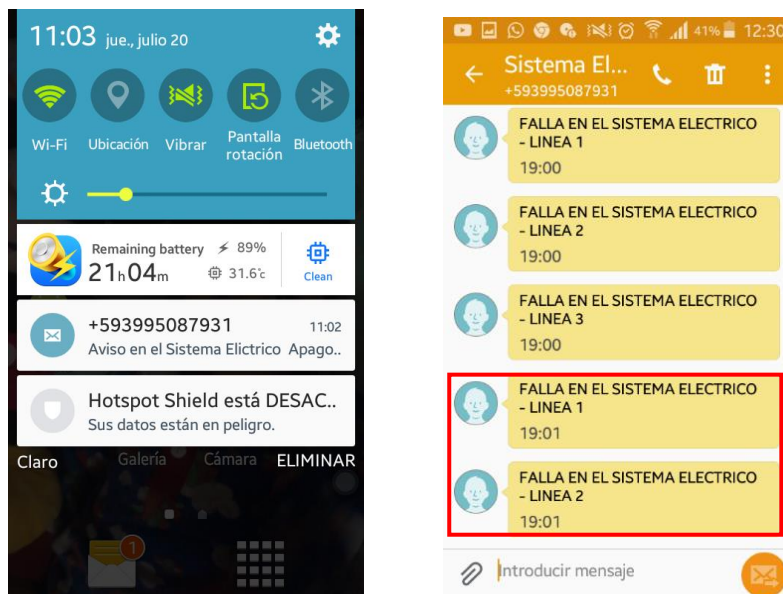


Figura 89. Notificación de SMS
Fuente: EL autor

4.1.1.5. Reportes de Fallas

Para tener constancia de las fallas que se han suscitado fue necesario la implementar un método el cual se encargue de almacenar esta información. La gran ventaja de utilizar un shield Ethernet es que posee una ranura para una tarjeta micro SD (ver figura 90).

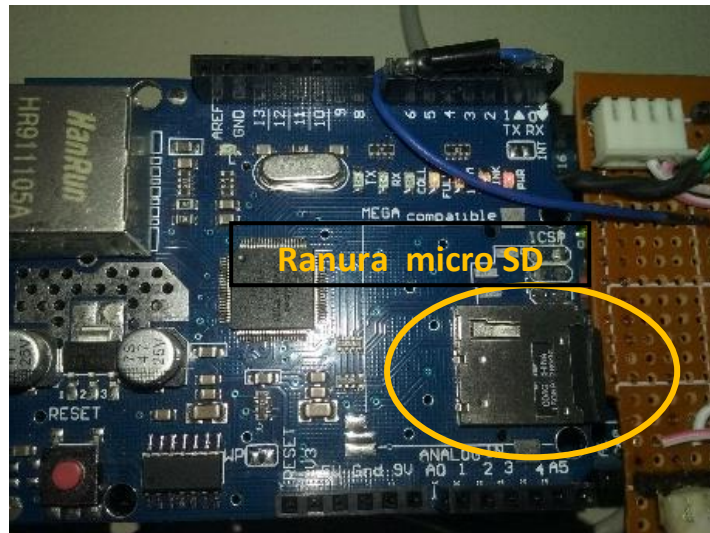


Figura 90. Ranura para micro SD

Fuente: el autor

Se debe tener en cuenta que debido a que el chip W5100 y la tarjeta SD comparten el bus SPI no pueden trabajar simultáneamente y así solo una puede estar activa a la vez. Por lo cual se debe de configurar diferentes pines en alto y bajo para establecer cual trabaja cuando sea necesario (ver figura 91). En la necesidad de utilizar las dos funciones se configuro el pin 10 como salida y alto para la tarjeta SD (ver figura 91-a) mientras que para el chip W5100 se configuró en pin 4 como salida y alta (ver figura 91-b).

```
Serial.begin(9600);  
pinMode(10, OUTPUT);  
digitalWrite(10,HIGH);  
Serial.println("Tarjeta SD inicializando");  
  
EthernetClient client = server.available();  
if (client)  
{  
  pinMode(4, OUTPUT);  
  digitalWrite(4,HIGH);  
}
```

Figura 91. Código de activación entre W5100 y ranura micro SD

Fuente: el autor

Se utilizará una tarjeta micro SD con una capacidad de 4 [Gb] que es suficiente para la recepción de datos ya que no será información de gran tamaño. Se establecerá un

cálculo aproximado de cuanta información se puede recolectar por lo que se tomó como ejemplo una notificación que se ha enviado (ver figura 92-b) a la tarjeta micro SD cuyo tamaño fue de 69 bytes como se muestra en la figura 92-a.

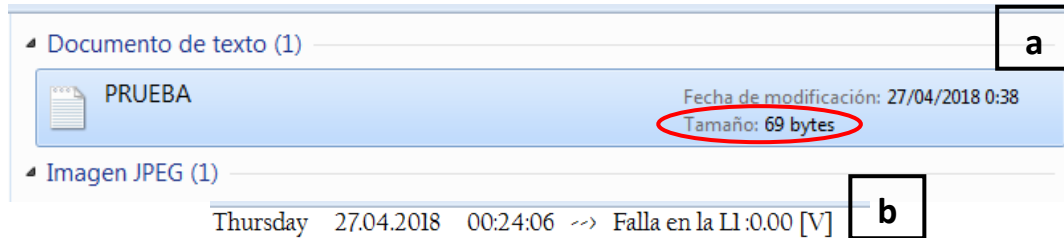


Figura 92. Tamaño de dato receptado a la SD
Fuente: el autor

Una vez que se conoce el tamaño aproximado de cada una de las lecturas de notificación que se recibirán se puede establecer cuántas lecturas puede almacenar la tarjeta micro SD de 4 [Gb].

$$1.073.741.824 \text{ [bytes]} \Big/ \frac{1 \text{ [Gb]} \quad 4 \text{ [Gb]}}{X}$$

$$X = 4'294.967.296 \text{ [bytes]}$$

$$69 \text{ [bytes]} \Big/ \frac{1 \text{ Lectura} \quad X}{4294967296 \text{ [bytes]}}$$

$$X = 62.245.903 \text{ lecturas aproximadamente}$$

Figura 93. Tamaño total de almacenamiento
Fuente: el autor

Como se puede observar se tiene una cantidad exorbitante para almacenar información sin ningún problema, esta cifra no variará mucho ya que todos los datos de notificación que serán receptados tienen el mismo tamaño.

Una vez que inicializa el sistema todas sus funciones comienzan a trabajar y es ahí en donde el arduino analiza la ranura para identificar si existe una tarjeta micro SD y si existe da como éxito su inicialización para su uso como se muestra en la figura 94.


```
Tarjeta SD inicializando
Iniciación de tarjeta SD exitosa
server is at 192.168.0.8
Setup Complete!
```

Figura 94. Verificación de inicialización de micro SD
Fuente: el autor

En el caso de que se presentará alguna anomalía, el algoritmo en si verificará la información y realizará una escritura en un archivo .txt (ver figura 95) que se encontrará en la micro SD. Con este método se llevará un control de reportes especificando que líneas ha sufrido problemas con la fecha y hora de lo suscitado.

```
0
Escritura correcta ←
SMS Sent!
FALLA EN EL SISTEMA ELECTRICO - LINEA 1
```

Figura 95. Verificación de escritura
Fuente: el autor

Para obtener la fecha se optó por utilizar un módulo RTC (real-time clock – reloj en tiempo real), este componente posee un circuito integrado DS1302 que prácticamente conserva la hora actual por medio de su cristal por medio de pulsos de reloj. Posee una pila que trabaja como alimentación alternativa que ayuda a seguir con la medición del tiempo mientras la alimentación principal deje de suministrar energía, este módulo estará conectado directamente al arduino maestro como se muestra en la figura 96.

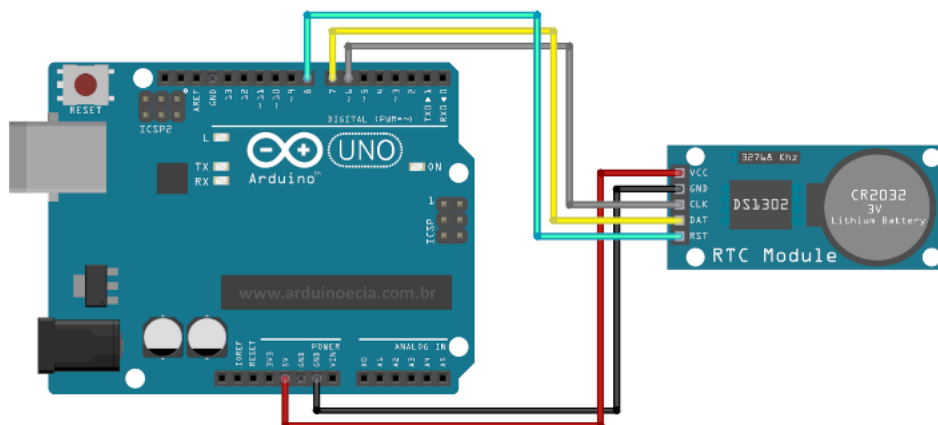


Figura 96. Conexión del módulo RTC 1309
Fuente: el autor

Como requisito importante es necesario primero calibrar con la hora actual al módulo RTC ya que viene con una hora predeterminada. Una vez realizada la calibración el módulo ya determinará la hora actual (ver figura 97) que servirá para el control en la revisión de cuando ha surgido una falla.

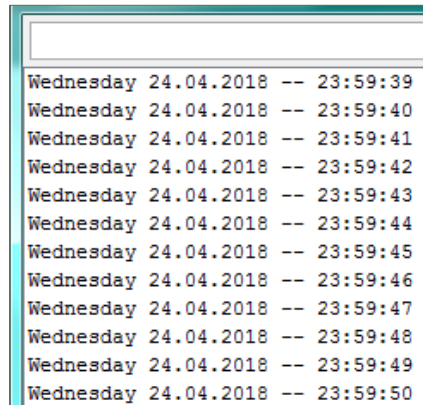


Figura 97. Ajuste y chequeo de la hora actual del RTC
Fuente: el autor

Esta configuración servirá para establecer una fecha y hora en el archivo .txt que se encuentra en la micro SD, con esto ya se generaría un reporte con toda la información necesaria para indicar en donde y cuando se ha suscitado algún problema en el sitio respecto al sistema eléctrico, esto se puede apreciar en la figura 98.

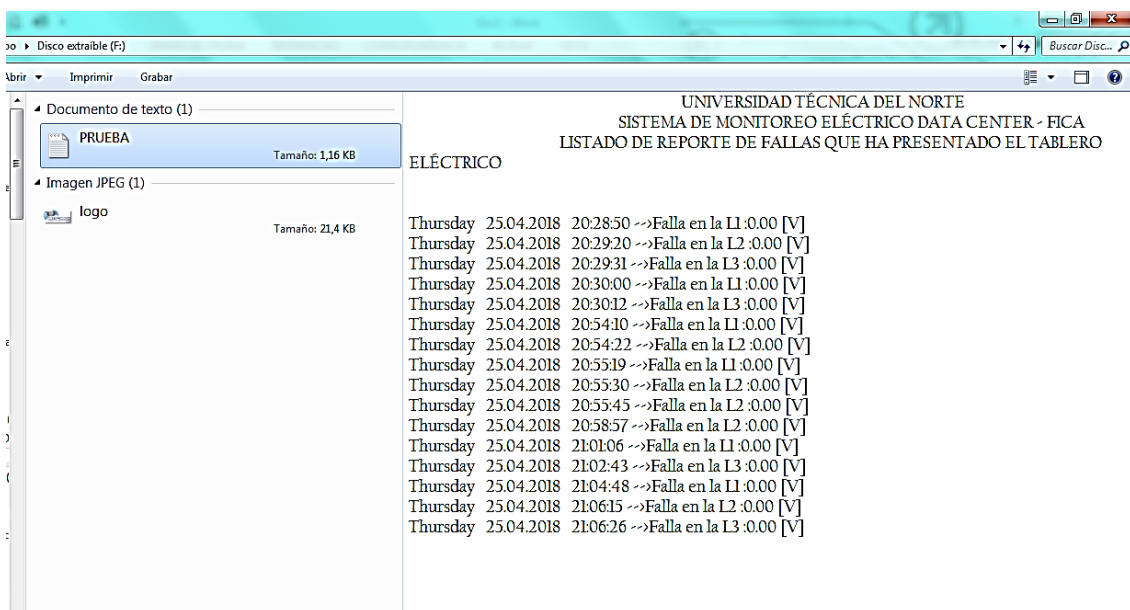


Figura 98. Desarrollo del reporte del sistema eléctrico
Fuente: el autor

4.2. Diagrama total del sistema de monitoreo

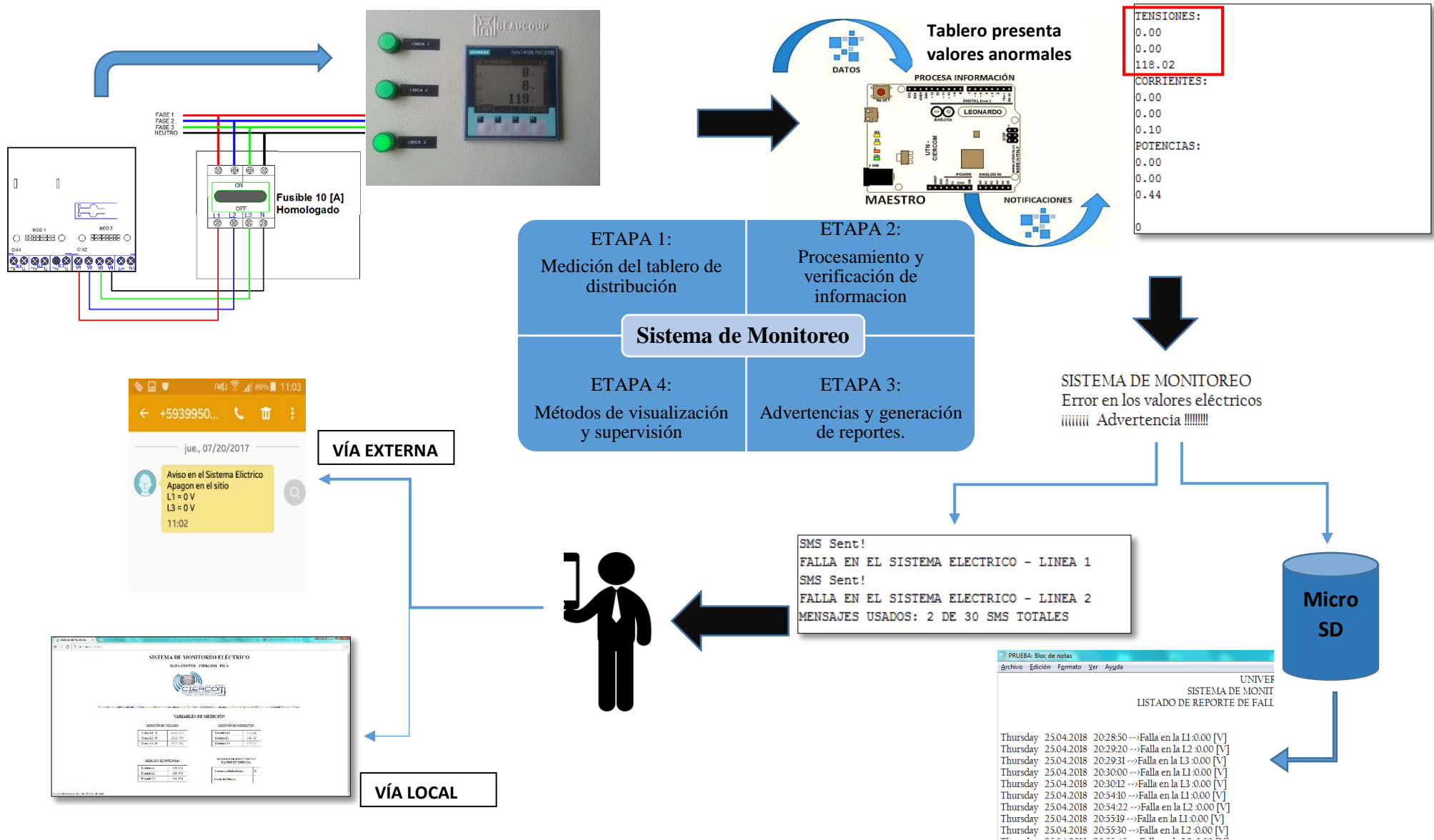


Figura 99. Proceso total del sistema de monitoreo

Fuente: EL autor

4.3. Costo del sistema de monitoreo

Es necesario tener un valor referente a cerca del sistema de monitoreo, en este costo intervienen varios valores como costo del hardware, software, armado del sistema, y sobretodo el costo de desarrollo.

En la tabla 40 se especifica los materiales electrónicos que han sido utilizados en el proceso de desarrollo del sistema de monitoreo.

Tabla 40.

Precio de componentes electrónicos

Elemento	Costo	Valor agregado (12%)	Cantidad	Costo Total
PAC 3100	450,00	54,00	1	504,00
Transformadores de corriente	13,54	1,62	3	45,48
Gabinete metálico BEAUCOUP (400x400x250)mm	87,06	10,45	1	97,51
Platina Cobre	9,60	1,15	2	21,50
Arduino Mega	22,50	2,70	1	25,20
Arduino Ethernet	12,50	1,50	1	14,00
Módulo GSM	12,50	1,50	1	14,00
Módulo RS485-USB	4,20	0,50	1	4,70
Batería 5-12 [V], 4 [A]	15,00	1,80	1	16,80
TOTAL				743,19

Precios detallados de los componentes y dispositivos utilizados para el desarrollo del sistema de monitoreo, Fuente: (APM Micro, 2017)

Además se tomaron en cuenta valores para el desarrollo del proyecto, esto cuenta como la mano de obra para el armado del tablero eléctrico para este sistema, viáticos, materiales de oficina y materiales varios que se tomaron en cuenta.

Tabla 41.

Valores de los costos de desarrollo del sistema

Detalle	Costo
Mano de obra (electricista)	150,00
Mano de obra (desarrollador del sistema)	3000,00
Materiales oficina	100,00

Viáticos	150.00
Materiales Varios	50.00
TOTAL	3450.00

Precios de trabajos que se implementaron para desarrollar el proyecto en su totalidad

- **Costo Total del sistema de Monitoreo**

En la siguiente tabla se aprecia un valor total de los recursos utilizados y necesarios para lograr el desarrollo del sistema. La información mostrada representa un costo real si se lo desarrollada de forma de lucro pero en este caso se dirá un costo referencial ya que se trata de un proyecto de titulación.

Tabla 42.

Costo total para implementación del sistema

Descripción	Costo Real	Costo Referencial
Costo equipos electrónicos	571,74	743,19
Costo del desarrollo del sistema	3450.00	0.00
Software utilizados	0.00	0.00
TOTAL		\$ 571,74

Costo referencial que cuesta el proyecto en sí para desarrollar el proyecto por completo.

CAPITULO V

5.1. 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 754 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 del 100% de cualquier sistema es indispensable al momento de entrar en funcionamiento 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.

5.2. RECOMENDACIONES

- Antes de realizar un proyecto es necesario efectuar un análisis de la situación actual del sitio o zona en donde se pretende implementar, de los equipos y software a utilizar logrando así evitar inconvenientes en el proceso de desarrollo.
- Es prescindible que el módulo GSM tenga una fuente propia ya que en su funcionamiento llega hasta picos de 1 [A] debido a que necesita más potencia para establecer una conexión a una red 3G.
- Se recomienda verificar si el sitio en el cual se va a implementar el sistema de monitoreo, no presenta ningún tipo de interferencias eléctricas y que en la zona se disponga de buena cobertura para establecer una comunicación móvil para el envío de SMS.
- Se recomienda tener presente la información del contador de SMS que presenta la página web del sistema de monitoreo ya que por cada \$ 1.00 se tiene un cantidad de 10 mensajes de texto aproximadamente lo cual si excede esto se tiene que agregar saldo al número móvil que posee este sistema para que se recepen las notificaciones en el teléfono móvil configurado.

5.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Acometida Eléctrica:** derivación que parte desde las redes eléctricas comerciales hacia el inmueble donde hará uso para el consumo de energía.
- **ADU:** Application Data Unit - (Unidad de datos de aplicación).
- **ASCII:** American Standard Code for Information Interchange - (Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información).
- **CCTV:** Circuito Cerrado de Televisión.
- **Data Center:** Centro de datos de Procesamiento.
- **Ferroresonate:** Fuente de voltaje constituida por un transformador bañado en resina epoxi para permanecer en la intemperie sin daño alguno.
- **DIN:** Deutsches Institut für Normierung - (Instituto Alemán de Normalización).
- **EIA:** Electronic Industries Association - (Asociación de Industrias Electrónicas).
- **EN:** European Norm - (Norma europea).
- **GSM:** Global System for Mobile communications - (Sistema Global para las comunicaciones Móviles).
- **IDE:** Integrated Development Environment - (entorno de desarrollo integrado o entorno de desarrollo interactivo).
- **IEC:** International Electrotechnical Commission - (Comisión Internacional Electrotécnica).
- **IMEI:** International Mobile Station Equipment Identity - (Identidad internacional de equipo móvil).
- **MBAP:** ModBus Application Protocol - (Protocolo de aplicación Modbus).
- **Modbus:** Protocolo industrial que hace posible la comunicación entre dispositivos de automatización en ambientes industriales.
- **PDU:** Unidad de datos de protocolo.

- **Profibus:** PROcess FIeld BUS - estándar de comunicaciones para bus de campo.
- **RAM:** Random Access Memory - (Memoria de acceso aleatorio).
- **RTU:** Remote Terminal Unit - (Unidad Terminal Remota).
- **SIM:** Subscriber identity module (módulo de identificación de suscripción)
- **SIMCOM:** Compañía de módulos inalámbricos para aplicaciones Machine-to-Machine (M2M).
- **Sistemas embebidos:** Sistemas que son diseñados para ejecutar una o varias funciones dedicadas.
- **SPI:** Serial Peripheral Interface - (Interfaz Periférica Serial).
- **Termo-magnético:** Interruptor que logra interrumpir la corriente eléctrica cuando sobrepasa el rango de valores máximos.
- **TIA:** Telecommunications Industry Association - (Asociación de la industria de las telecomunicaciones).
- **Trifásico:** sistema de tres tensiones alternas respectivamente.
- **UPS:** Uninterruptible Power Supply - (Sistema de alimentación ininterrumpida).
- **RTC:** Real Time Clock - (Reloj en tiempo real).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, A. (2013). *Repositorio-Tesis*. Obtenido de Repositorio-Tesis.uach:
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcia283i/doc/bmfcia283i.pdf>
- Alba, A. M. (Diciembre de 2015). Obtenido de (ALB)² Web Site :
<http://albsquared.com/es/2015/10/04/modulo-gsm-para-arduino-i/>
- Alvarez, M. (2013). *Dspace.epoch*. Obtenido de Tesis:
<http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/2277/1/18T00423.pdf>
- Barragán, J. (10 de Junio de 2013). *Universidad de Huelva* . Obtenido de uhu.es Web Site:
<http://uhu.es/antonio.barragan/content/modbus-tcp>
- Brown, L. (13 de Noviembre de 2015). *GSM World*. Obtenido de <http://www.gsmworld.com/>
- BusWork. (2005). Introduction to Modbus TCP/IP. *Acromag*, 42.
- Castro, D. M. (Julio de 2007). Implementación de un Sistema Automático de Control de un Generador de la Central Hidráulica La Península. Ambato , Ecuador .
- Chango, W. (2009). *Dspace-tesis*. Obtenido de Dspace.epoch:
<http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/99/1/18T00376.pdf>
- Corvin, S. (2014). *Schneider*. Obtenido de Schneider-electric: <http://www.schneider-electric.cl/documents/local/catalogos/de/cap6.pdf>
- Crespo, J. E. (04 de Julio de 2016). Obtenido de
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/07/04/ethernet-shield/>
- Daogang Peng, Hao Zhang, Hui Li, Fei Xia, "Development of the Communication Protocol Conversion Equipment Based on Embedded Multi-MCU and Mu-C/OS-II", *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA) 2010 International Conference on*, vol. 2, pp. 15-18, 2010.
- Daogang Peng, Hao Zhang, Jiannian Weng, Hui Li, Fei Xia, "Design and development of Modbus/RTU master monitoring system based on embedded PowerPC platform", *Industrial Electronics 2009. ISIE 2009. IEEE International Symposium on*, pp. 2148-2152, 2009.
- Delta. (03 de Enero de 2015). *infoPLC*. Obtenido de infoPLC.net:
<http://www.infopl.net/noticias/item/102405-medidor-potencia-delta-dpm-c530a>
- diario, E. (Agosto de 2014). *Revista Cloud Computing*. Obtenido de
<http://www.revistacloudcomputing.com/2013/06/que-es-el-hardware-libre/>
- Doutel, F. (18 de Agosto de 2015). *Xataka*. Obtenido de
<https://www.xataka.com/especiales/guia-del-arduinomaniaco-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-arduino>
- Extreme, D. (2014). *DX.com. Todos los derechos reservados*. Obtenido de DX Wholesale Website: http://www.dx.com/es/p/usb-to-rs485-module-black-221402#.WU12W-s1_IV
- Faranda, A. (2007). Obtenido de Alciro.com Web Site: http://www.alciro.org/alciro/RS-485_16/Lineas-RS-485_131.htm

- Guerrero, V., Yuste, R. L., & Martinez, L. (2016). *Comunicaciones Industriales*. México: TCM Automatización .
- Horsley, J. S. (2005). *Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico*. España: APC Legendary.
- Instruments, N. (16 de Octubre de 2014). Información Detallada sobre el Protocolo Modbus. Mexico, Mexico.
- Instruments, T. (Enero de 2015). *Texas Instruments Incorporated*. Obtenido de ti.com Web Site: <http://www.ti.com/product/SN75176B/datasheet>
- Kurose, J. F. (2010). *Computer networking - a top-down approach*. Addison-Wesley.
- López, A. (Enero de 2017). *CCM*. Obtenido de <http://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema-global-de-comunicaciones-moviles>
- López, I. E. (2010). *i-micro*. Obtenido de www.i-micro.com: <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/rs-485.pdf>
- Loreto, A. (2014). *Escorts*. Obtenido de Escorts.com: <https://www.escortsindependientes.mx/sitioseguo>
- Martinez, C. (s.f.). *Platea EI*. Obtenido de <http://platea.pntic.mec.es/~mhidalgo/edubasica/01arduino/arduino01.html>
- Modbus, S. (Agosto de 2015). Obtenido de Simply Modbus Web Site: <http://www.simplymodbus.ca/TCP.htm>
- Oracle, C. (08 de 2010). *oracle.com*. Obtenido de <https://docs.oracle.com/cd/E19957-01/820-2981/6nei0r0r9/index.html>
- Penin, A. R. (2008). *COMUNICACIONES INDUSTRIALES*. Barcelona: MANCOBO S.A.
- Prometec. (2015). *Copyright 2017 © Prometec*. Obtenido de Prometec.net Web Site : <https://www.prometec.net/comandos-at-gsm-gprs-gps/#>
- Ruiz, A. (2002). *IMPLEMENTACION DE UNA RED MODBUS/TCP*. Santiago de Cali.
- Saffirio, I. M. (01 de 11 de 2010). *Blog Informatica/Procesos*. Obtenido de <https://msaffirio.wordpress.com/2010/11/01/modelos-de-referencia-reference-models/>
- Salgado, E. (2013). *Electrica Salgado*. Obtenido de <http://www.electricasalgado.cl/productos/tablero-de-sincronizacion-y-paralelismo-automatico.html>
- Sapiensman. (Agosto de 2012). Obtenido de sapiensman.com: <http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs/doc39.php>
- Siemens. (Agosto de 2015). *Siemens*. Obtenido de Siemens Global Website: <http://w3.siemens.com/powerdistribution/global/es/lv/product-portfolio/pages/powerconfig-es.aspx>
- Siemens Energy & Automation, I. (2009). *SENTRON PAC3100*. Gerogia, USA: Industry Sector.
- Siemens, A. (2009). Power Monitoring Device SENTRON PAC3100. *SENTRON*, 150.

- Silvana Navarro, W. R. (2007). *Repositorio*. Obtenido de Repositorio.uis:
<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/3297/2/125338.pdf>
- SIMCom. (2015). *simcomm2m*. Obtenido de <http://simcomm2m.com/Spain/about/>
- Stalling, W. (2004). *Comunicaciones y Redes de Computación 7º Edición*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de Computadoras, Cuarta Edición*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Torres, M. F. (Diciembre de 2007). 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, Ecuador.
- Vicente, J. L. (28 de Junio de 2013). *El cultural*. Obtenido de
<http://www.elcultural.com/revista/arte/Arduino-la-tecnologia-para-artistas-es-una-revolucion/33047>
- WEG. (Diciembre de 2012). *Manual de la Comunicación Modbus-RTU*. Mexico, Mexico.
- Wijethunga, A. G. (25 de Noviembre de 2015). *Techno*. Obtenido de
<http://www.ayomaonline.com/programming/quickstart-sim800-sim800l-with-arduino/>

ANEXOS

ANEXO 1
Medidor Digital PAC 3100

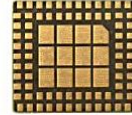
ANEXO 2

Módulo GSM/GPRS 800L de SIMCOM

Version: 1005



GSM/GPRS Module



SIM800L

SIM800L is a complete Quad-band GSM/GPRS solution in a LGA type which can be embedded in the customer applications.

SIM800L support Quad-band 850/900/1800/1900MHz, it can transmit Voice, SMS and data information with low power consumption. With tiny size of 15.8*17.8*2.4 mm, it can fit into slim and compact demands of customer design.

Smart Machine Smart Decision

General features

- Quad-band 850/900/1800/1900MHz
- GPRS multi-slot class 12/10
- GPRS mobile station class B
- Compliant to GSM phase 2/2+
 - Class 4 (2 W @ 850/900 MHz)
 - Class 1 (1 W @ 1800/1900MHz)
- FM: 76~109MHz worldwide bands with 50KHz tuning step
- Dimensions: 15.8*17.8*2.4 mm
- Weight: 1.35g
- Control via AT commands (3GPP TS 27.007, 27.005 and SIMCOM enhanced AT Commands)
- Supply voltage range 3.4 ~ 4.4V
- Low power consumption
- Operation temperature:-40℃ ~85℃

Specifications for GPRS Data

- GPRS class 12: max. 85.6 kbps (downlink/uplink)
- PBCCH support
- Coding schemes CS 1, 2, 3, 4
- PPP-stack
- CSD up to 14.4 kbps
- USSD
- Non transparent mode

Specifications for SMS via GSM/GPRS

- Point to point MO and MT
- SMS cell broadcast
- Text and PDU mode

Software features

- 0710 MUX protocol
- Embedded TCP/UDP protocol
- FTP/HTTP
- MMS
- E-MAIL
- DTMF
- Jamming Detection

Specifications for voice

- Tricodex
 - Half rate (HR)
 - Full rate (FR)
 - Enhanced Full rate (EFR)
- AMR
 - Half rate (HR)
 - Full rate (FR)
- Hands-free operation (Echo suppression)

Interfaces

- 88 LGA pads including:
 - Analog audio interface
 - PCM interface
 - RTC backup
 - Serial interface
 - USB interface
 - Interface to external SIM 3V/1.8V
 - Keypad interface
 - GPIO
 - ADC
 - GSM Antenna pad
 - FM Antenna pad

Compatibility

- AT cellular command interface

Certifications(Plan):

- CE
- GCF
- FCC
- ROHS
- REACH

More about SIMCom SIM800L
Please contact:
Tel: 86-21-32523300
Fax: 86-21-32523301
Email: simcom@sim.com
Website: www.sim.com/ww

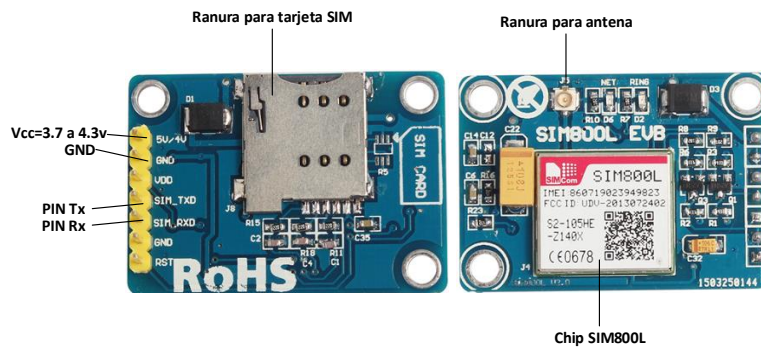
All specifications are subject to change without prior notice.

SIM800L GSM GPRS 4 Bandas Antena L Shape

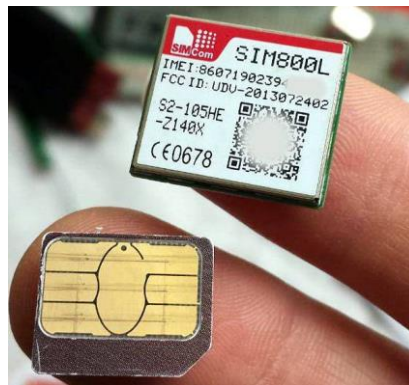


Características:

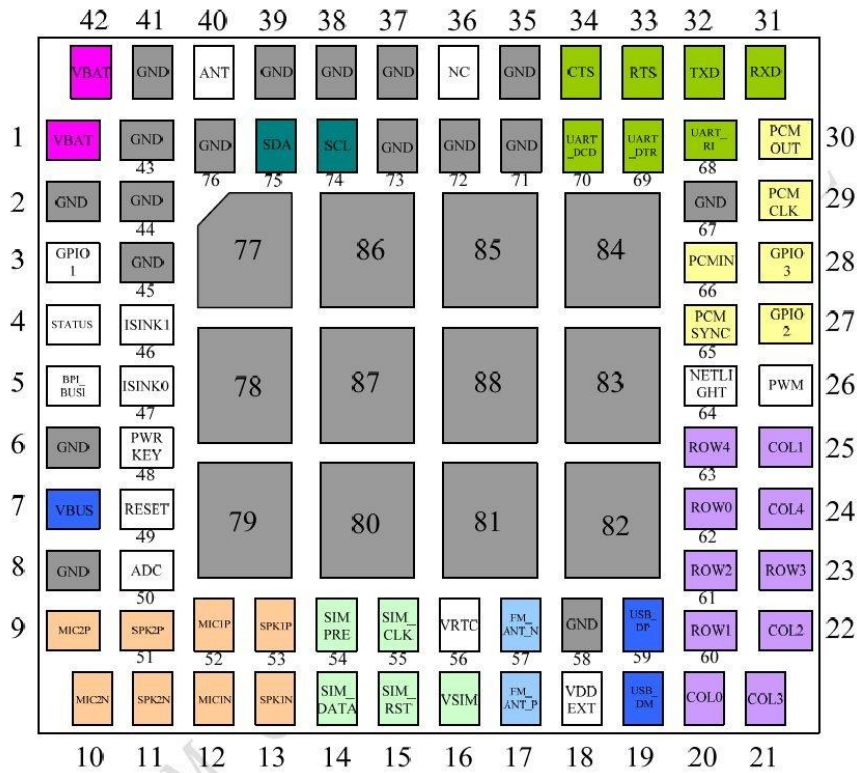
- Voltaje de Operación: 3.4V ~ 4.4V DC
- Nivel Lógico de 3V a 5V
- Interfaz: Serial UART
- Quad-band 850/900/1800/1900MHz – se conectan a cualquier red mundial GSM con cualquier SIM 2G
- Enviar y recibir mensajes SMS
- Enviar y recibir datos GPRS (TCP/IP, HTTP, etc)
- Receptor FM
- Interfaz de comandos AT con detección "automática" de velocidad de transmisión
- Soporta Reloj en tiempo real (RTC)
- Velocidades de transmisión serial desde 1200bps hasta 115200bps
- Tamaño de la SIM: Micro SIM



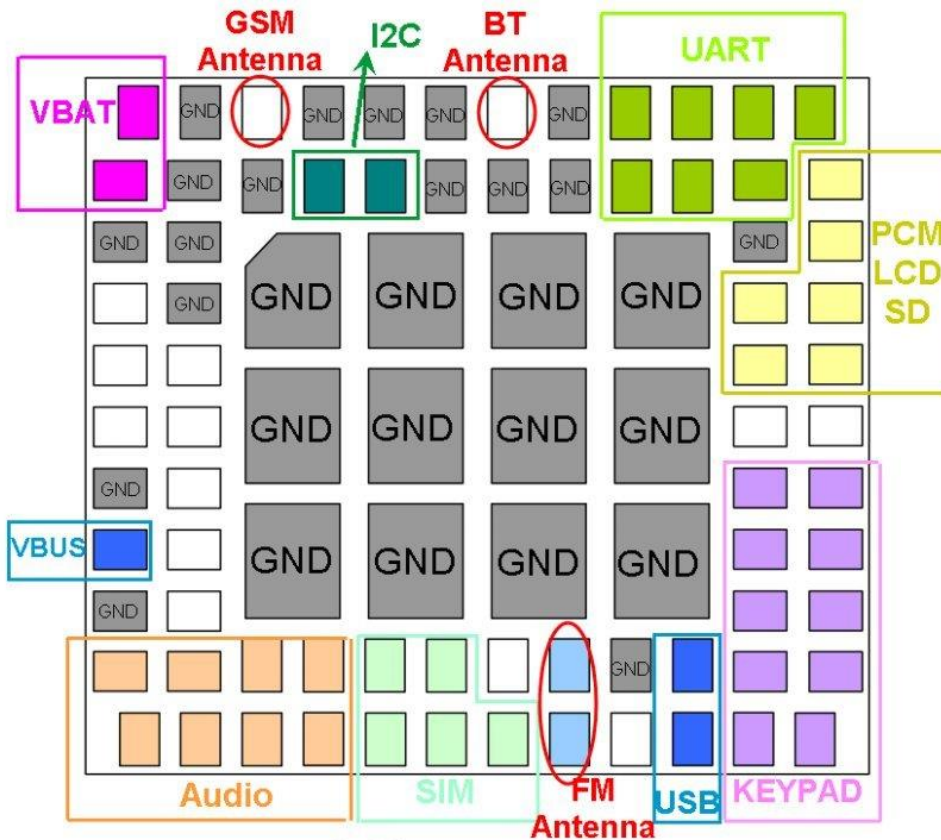
El módulo SIM800L es sutil, posee una dimensión pequeña, es igual a una tarjeta SIM.



Este módulo posee 88 almohadillas (pines) los cuales tienen una función específica como se muestra en el siguiente esquema:



Cada pin tiene una función específica y algunas trabajan en conjunto para poder realizar funciones específicas, en el siguiente diagrama se juntan varios pines de salida en bloques diferentes.



ANEXO 3

Características del circuito integrado MAX-485

Pin Description

PIN					NAME	FUNCTION
MAX481/MAX483/ MAX485/MAX487/ MAX1487		MAX488/ MAX490		MAX489/ MAX491		
DIP/SO	μMAX	DIP/SO	μMAX	DIP/SO		
1	3	2	4	2	RO	Receiver Output: If A > B by 200mV, RO will be high; If A < B by 200mV, RO will be low.
2	4	—	—	3	\overline{RE}	Receiver Output Enable. RO is enabled when \overline{RE} is low; RO is high impedance when \overline{RE} is high.
3	5	—	—	4	DE	Driver Output Enable. The driver outputs, Y and Z, are enabled by bringing DE high. They are high impedance when DE is low. If the driver outputs are enabled, the parts function as line drivers. While they are high impedance, they function as line receivers if \overline{RE} is low.
4	6	3	5	5	DI	Driver Input. A low on DI forces output Y low and output Z high. Similarly, a high on DI forces output Y high and output Z low.
5	7	4	6	6, 7	GND	Ground
—	—	5	7	9	Y	Noninverting Driver Output
—	—	6	8	10	Z	Inverting Driver Output
6	8	—	—	—	A	Noninverting Receiver Input and Noninverting Driver Output
—	—	8	2	12	A	Noninverting Receiver Input
7	1	—	—	—	B	Inverting Receiver Input and Inverting Driver Output
—	—	7	1	11	B	Inverting Receiver Input
8	2	1	3	14	VCC	Positive Supply: 4.75V ≤ VCC ≤ 5.25V
—	—	—	—	1, 8, 13	N.C.	No Connect—not internally connected

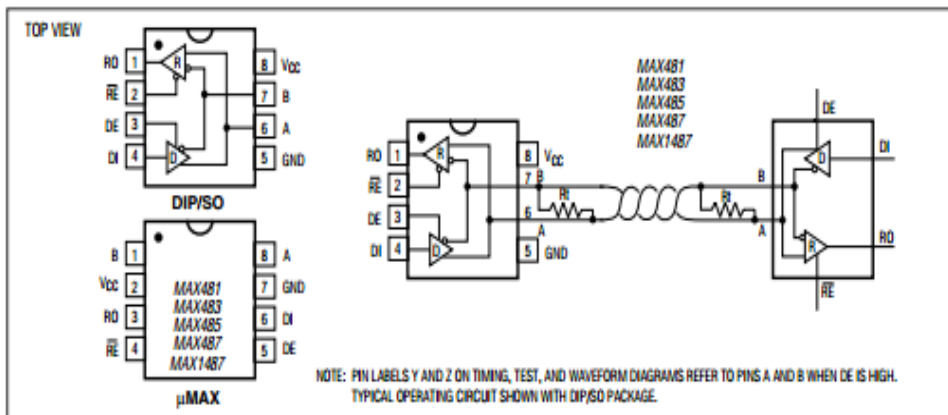


Figure 1. MAX481/MAX483/MAX485/MAX487/MAX1487 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

Fuente: Maxim Integrated (2014), obtenido de: MAX485 Datasheet, pag. 4

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MAX 485:

- TRANSCÉPTOR RS-485/422, DIP8, 485
- Tipo de dispositivo: RS485, RS422
- Interfaz: RS485, RS422
- Rango de voltaje de alimentación: 4.75V a 5.25V

- Rango de temperaturas de funcionamiento: 0 ° C a + 70 ° C
- Temperatura de funcionamiento máxima: 70 ° C
- Temperatura mínima de funcionamiento: 0 ° C
- Número de base: 485
- IC Número genérico: 485
- Tipo de interfaz: RS-485 / RS-422
- Número de función lógica: 485
- Tensión de alimentación máxima: 5.25V
- Tensión de alimentación mínima: 4.75V
- Voltaje Vcc: 5V
- Velocidad de datos: 2.5Mbps
- N° de canales: 1
- Número de receptores: 1
- Corriente de suministro: 400µA

ANEXO 4

Características del regulador de voltaje LM317t



July 2004

LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential volt-

age, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

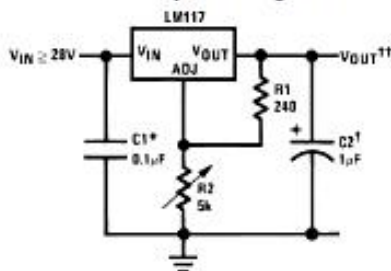
For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

Typical Applications

1.2V–25V Adjustable Regulator



Full output current not available at high input-output voltages

*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.

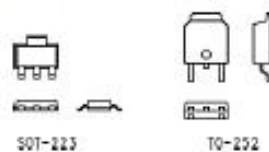
†Optional—Improves transient response. Output capacitors in the range of 1µF to 1000µF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = I_{ADJ} R_2$$

LM117 Series Packages

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
EMP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

SOT-223 vs. D-Pak (TO-252) Packages



Scale 1:1

LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

Rangos absolutos del LM317t

LM117/LM317A/LM317

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature	
Metal Package (Soldering, 10 seconds)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)	260°C

ESD Tolerance (Note 5)

3 kV

Operating Temperature Range

LM117	-55°C ≤ T _J ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T _J ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T _J ≤ +125°C

Preconditioning

Thermal Limit Burn-In All Devices 100%

Electrical Characteristics (Note 3)

Specifications with standard type face are for T_J = 25°C, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, V_{IN} - V_{OUT} = 5V, and I_{OUT} = 10 mA.

Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units
		Min	Typ	Max	
Reference Voltage					V
	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V, 10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} , P ≤ P _{MAX}	1.20	1.25	1.30	V
Line Regulation	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V (Note 4)		0.01	0.02	%/V
			0.02	0.05	%/V
Load Regulation	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} (Note 4)		0.1	0.3	%
			0.3	1	%
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W
Adjustment Pin Current			50	100	μA
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} 3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V		0.2	5	μA
Temperature Stability	T _{MIN} ≤ T _J ≤ T _{MAX}		1		%
Minimum Load Current	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V		3.5	5	mA
Current Limit	(V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 15V				
	K Package	1.5	2.2	3.4	A
	H Package	0.5	0.8	1.8	A
	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V				
	K Package	0.3	0.4		A
	H Package	0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V _{OUT}	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%
Ripple Rejection Ratio	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 0 μF		65		dB
	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 10 μF	66	80		dB
Long-Term Stability	T _J = 125°C, 1000 hrs		0.3	1	%
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3	°C/W
	H Package		12	15	°C/W
	E Package				°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		°C/W
	H Package		140		°C/W
	E Package				°C/W

ANEXO 5

Características del regulador de voltaje 7809

UTCLM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

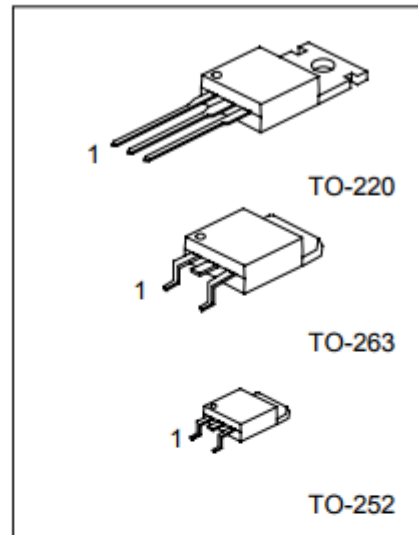
3-TERMINAL 1A POSITIVE VOLTAGE REGULATOR

DESCRIPTION

The UTC 78XX family is monolithic fixed voltage regulator integrated circuit. They are suitable for applications that required supply current up to 1 A.

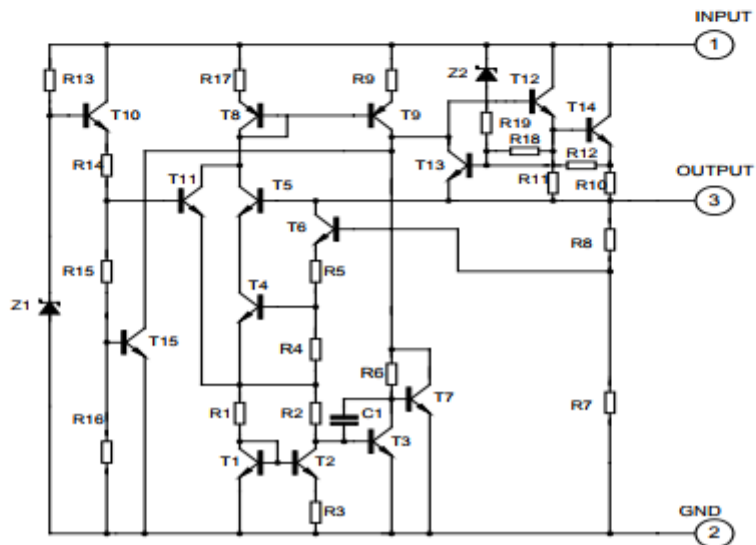
FEATURES

- *Output current up to 1.5 A
- *Fixed output voltage of 5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V and 24V available
- *Thermal overload shutdown protection
- *Short circuit current limiting
- *Output transistor SOA protection



1: Input 2: GND 3: Output

TEST CIRCUIT



UTC LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

UTC LM7824 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

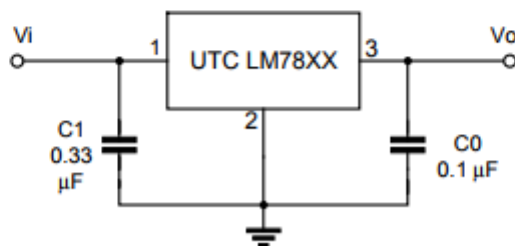
($V_I=33V$, $I_o=0.5A$, $T_j=0^\circ C - 12^\circ C$, $C_1=0.33\mu F$, $C_o=0.1\mu F$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.0A$	23.04	24.0	24.96	V
		$V_I=27V$ to $38V$, $I_o=5mA - 1.0A$	22.80		25.20	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.5A$			240	mV
		$T_j=25^\circ C$, $I_o=0.25A - 0.75A$			120	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_I=27V$ to $38V$, $T_j=25^\circ C$			240	mV
		$V_I=27V$ to $38V$, $T_j=25^\circ C$, $I_o=1A$			240	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^\circ C$, $I_o<1A$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_I=28V$ to $38V$			1.0	mA
		$I_o=5mA - 1.0A$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	$10Hz \leq f \leq 100kHz$		170		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5mA$		-2.8		mV/ $^\circ C$
Ripple Rejection	RR	$V_I=28V - 38V$, $f=120Hz$, $T_j=25^\circ C$	50	66		dB
Peak Output Current	I_{PK}	$T_j=25^\circ C$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{sc}	$V_I=35V$, $T_j=25^\circ C$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_j=25^\circ C$		2.0		V

Note 1: The Maximum steady state usable output current are dependent on input voltage, heat sinking, lead length of the package and copper pattern of PCB. The data above represents pulse test conditions with junction temperatures specified at the initiation of test.

Note 2: Power dissipation $< 0.5W$

APPLICATION CIRCUIT



Note 1: To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX".

Note 2: Bypass capacitors are recommended for optimum stability and transient response and should be located as close as possible to the regulators.

ANEXO 6

Código de programación

Librerías y variables declaradas

```
#include <SPI.h>           //Librería comunicación por medio de SPI (Cx entre arduino y shield Ethernet).
#include <Ethernet.h>      //Librería Ethernet para comunicación con una red Ethernet.
#include <Modbus.h>        //Librería para el uso de información de tipo industrial (modbus rtu).
```

```
uint16_t aul6data[30];    //conjunto de datos para compartir la red Modbus
```

```
byte mac[] = {0x00, 0x26, 0xC7, 0xD8, 0xFB, 0x2B}; //Dirección física MAC del escudo shield Ethernet
byte ip[] = {172, 16, 44, 105}; //Dirección física MAC del escudo shield Ethernet
byte subnet[] = {255, 255, 255, 0}; //Máscara de la subred
byte gateway[] = {172, 16, 1, 1}; //Puerta de enlace
IPAddress dnServer(172, 16, 1, 254); //Dirección DNS
```

```
DS1302 rtc(6, 8, 9); //Declaración de pines para el uso del módulo RTC
EthernetServer server(8081);
Modbus master(0,1,10); //Asignado el serial 1 del ARDUINO MEGA
modbus_t telegram;
unsigned long u32wait; //Tamaño de la cadena del dato
```

```
float TL1=0; //Variables de tensión de las 3 líneas eléctricas para los diferentes métodos
float TL1b=0;
float TL2=0;
float TL2b=0;
float TL3=0;
float TL3b=0;
```

```
float CL1=0; //Variables de corriente de las 3 líneas eléctricas para los diferentes métodos
float CL1b=0;
float CL2=0;
float CL2b=0;
float CL3=0;
float CL3b=0;
```

```
float PotL1=0; //Variables de potencia de las 3 líneas eléctricas para los diferentes métodos
float PotL1b=0;
float PotL2=0;
float PotL2b=0;
float PotL3=0;
float PotL3b=0;
```

```
String telefonoDestino = "AT+CMGS=\"+593991146062\""; //Declaración del número del
//destinatario al que le llegan los SMS
```

```
int auxGsmL1=0; //Variables usadas en los diferentes métodos que indican el número de
int auxGsmL2=0; //SMS enviados de cada una de las líneas eléctricas
int auxGsmL3=0;
```

```
int Linea1[4]; //Variables de tensión de las 3 líneas eléctricas usadas en la conversión a float
int Linea2[4];
```

```

int Linea3[4];
String Linea1Bin[16];
String Linea2Bin[16];
String Linea3Bin[16];
float Linea1Total=3;
float Linea2Total=3;
float Linea3Total=3;

int CorrienteLinea1[4];      //Variables de corriente de las 3 líneas eléctricas usadas en la conversión a float
int CorrienteLinea2[4];
int CorrienteLinea3[4];
String CorrienteLinea1Bin[16];
String CorrienteLinea2Bin[16];
String CorrienteLinea3Bin[16];
float CorrienteLinea1Total;
float CorrienteLinea2Total;
float CorrienteLinea3Total=0;

int PotenciaLinea1[4];      //Variables de potencia de las 3 líneas eléctricas usadas en la conversión a float
int PotenciaLinea2[4];
int PotenciaLinea3[4];
String PotenciaLinea1Bin[16];
String PotenciaLinea2Bin[16];
String PotenciaLinea3Bin[16];
float PotenciaLinea1Total;
float PotenciaLinea2Total;
float PotenciaLinea3Total=0;

int NumMensajes=0;
int auxMensajes=0;

SoftwareSerial mySerial(38, 39);      //Crea un objeto SoftwareSerial para que podamos usar el
                                       software de serie.

const int buttonPin = 7;      //Variable para el uso de un pulsador para el reseteo del valor total de SMS
int buttonState = 0;

```

Código para lectura de variables eléctricas

```

void loop()
{
  au16data[0]=0;
  au16data[1]=0;
  au16data[2]=0;
  au16data[3]=0;
  au16data[4]=0;
  au16data[5]=0;
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  if (buttonState == HIGH)
  {
    NumMensajes=0;
  }
  switch( u8state ) {
    case 0:

```



```

    if (millis() > u32wait) u8state++; // Estado de espera
    break;
case 1:
    telegram.u8id = 2; // Dirección del esclavo
    telegram.u8fct = 4; // Código de Función (registros de lectura)
    telegram.u16RegAdd = 1; // Inicio de lectura en dirección 1 del esclavo
    telegram.u16CoilsNo = 29; // Número de elementos a leer
    telegram.aul6reg = aul6data; // Indicador de una matriz de memoria en el Arduino
    master.query( telegram ); // Envío de la consulta al esclavo (una sola vez)
    u8state++;
    break;
case 2:
    master.poll(); // Verifica los mensajes entrantes
    if (master.getState() == COM_IDLE) {
        u8state = 0;
        u32wait = millis() + 100;
        TL1=aul6data[0];
        TL1b=aul6data[1];
        TL2=aul6data[2]; //Realiza la lectura de las variables de POTENCIA
                        // en su dirección registro asignado

        TL2b=aul6data[3];
        TL3=aul6data[4];
        TL3b=aul6data[5];

        CL1=aul6data[12];
        CL1b=aul6data[13];
        CL2=aul6data[14];
        CL2b=aul6data[15]; //Realiza la lectura de las variables de CORRIENTE
                        // en su dirección registro asignado

        CL3=aul6data[16];
        CL3b=aul6data[17];

        PotL1=aul6data[24];
        PotL1b=aul6data[25];
        PotL2=aul6data[26];
        PotL2b=aul6data[27]; //Realiza la lectura de las variables de POTENCIA
                        // en su dirección registro asignado

        PotL3=aul6data[28];
        PotL3b=aul6data[29];

        //////////////// ----- Método para cambio de valores de Hexadecimal a Float-----//////////////////

        ////////////////////////////////////////***** VOLTAJE LINEA 1 *****//////////////////////////////////////

        Serial.println("//// TENSION LÍNEA UNO ////"); //Imprime el inicio de la tensión de Línea 1
        String strTL1 = String(aul6data[0], HEX); //Cambio del primero registro del valor decimal
                                                // a hexadecimal
        String strTL1b = String(aul6data[1], HEX); //Cambio del segundo registro del valor decimal
                                                // a hexadecimal
        String strTL = strTL1 + strTL1b; //Unir los valores de los dos registros en una sola
                                        // cadena de tipo "string".
        Serial.println(strTL1); //Imprime en primero registro
        Serial.println(strTL1b); //Imprime el segundo registro

```

```

Serial.println(strTL); //Imprime la cadena total

for(int s=0;s<4;s++) // Método que verifica y almacena el valor hexadecimal
{
  if(int(strTL1[s])<60)
  {
    Lineal[s]=int(strTL1[s])-48;
  }
  else
  {
    Lineal[s]=int(strTL1[s])-87;
  }
  LinealBin[s]= (String(Lineal[s],BIN));
}
Serial.println("//////////*****//////////");

for(int p=0; p<4; p++) // Método para llenar 4 bits de 1 byte en binario
{ int e= LinealBin[p].length();
  switch(e)
  {
    case 1:
      LinealBin[p]= "000"+ LinealBin[p];
      Serial.println(LinealBin[p]);
      break;

    case 2:
      LinealBin[p]= "00"+ LinealBin[p];
      Serial.println(LinealBin[p]);
      break;

    case 3:
      LinealBin[p]= "0"+ LinealBin[p];
      Serial.println(LinealBin[p]);
      break;

    case 4:
      LinealBin[p]= LinealBin[p];
      Serial.println(LinealBin[p]);
      break;

    Serial.println(LinealBin[p]);
  }
}
String LinealString = LinealBin[0] + LinealBin[1] + LinealBin[2] +
LinealBin[3]; // Unión en una cadena de 4 bytes en formato binario
Serial.println(LinealString); // Imprime la cadena en binario

//////////----- Operación para la parte Entera -----//////////

int LinealIntDec = ((LinealString[1]-48)*128)+((LinealString[2]-48)*64)
((LinealString[3]-48)*32)+((LinealString[4]-48)*16)+((LinealString[5]-48)*8)+
((LinealString[6]-48)*4)+((LinealString[7]-48)*2)+((LinealString[8]-48)*1);

```

```

Serial.println(LinealIntDec);
LinealIntDec=LinealIntDec-127;
Serial.println(LinealIntDec);
float resultLineal = pow(2,LinealIntDec);
Serial.println(resultLineal );

```

////////////////////////////////----- Operacion para la parte Decimal -----////////////////////////////////

```

float LinealFraccion = ((LinealString[9]-48)*(0.5))+((LinealString[10]-48)*(0.25))+
(LinealString[11]-48)*(0.125)+(LinealString[12]-48)*(0.063)+
(LinealString[13]-48)*(0.031)+(LinealString[14]-48)*(0.016)+(LinealString[15]-
48)*(0.008);
LinealTotal = resultLineal * (1+LinealFraccion);
Serial.println(LinealFraccion);
Serial.println(LinealTotal );

```

////////////////////////////////***** VOLTAJE LÍNEA 2 *****////////////////////////////////

```

Serial.println("// TENSION LÍNEA DOS ");
String strTL2 = String(aul6data[2], HEX);
String strTL2b = String(aul6data[3], HEX);
String strTL2T = strTL2 + strTL2b;
Serial.println(strTL2);
Serial.println(strTL2b);
Serial.println(strTL2T);
for(int s=0;s<4;s++) // Verifica y almacena el valor hexadecimal
{
  if(int(strTL2[s])<60)
  {
    Linea2[s]=int(strTL2[s])-48;
  }
  else
  {
    Linea2[s]=int(strTL2[s])-87;
  }
  Linea2Bin[s]= (String(Linea2[s],BIN));
}
Serial.println("////////*****////////");

```

```

for(int p=0;p<4;p++) // Método para llena 4 caracteres por binario de 4 bits
{ int e= Linea2Bin[p].length();
  switch(e)
  {
    case 1:
      Linea2Bin[p]= "000"+ Linea2Bin[p];
      Serial.println(Linea2Bin[p]);
      break;
    case 2:
      Linea2Bin[p]= "00"+ Linea2Bin[p];
      Serial.println(Linea2Bin[p]);
      break;
    case 3:

```

```

        Linea2Bin[p]= "0"+ Linea2Bin[p];
        Serial.println(Linea2Bin[p]);
        break;
        case 4:
        Linea2Bin[p]= Linea2Bin[p];
        Serial.println(Linea2Bin[p]);
        break;
        Serial.println(Linea2Bin[p]);
    }
}

String Linea2String = Linea2Bin[0] + Linea2Bin[1] + Linea2Bin[2] + Linea2Bin[3];
// Unión en una cadena de 4 bytes en formato binario
Serial.println(Linea2String); // Imprime la cadena en binario

////////////////////////////////////----- Operación para la parte Entera -----////////////////////////////////////

int Linea2IntDec = ((Linea2String[1]-48)*128)+((Linea2String[2]-48)*64)+
((Linea2String[3]-48)*32)+((Linea2String[4]-48)*16)+
((Linea2String[5]-48)*8)+((Linea2String[6]-48)*4)+((Linea2String[7]-48)*2)+
((Linea2String[8]-48)*1);
Serial.println(Linea2IntDec);
Linea2IntDec=Linea2IntDec-127;
Serial.println(Linea2IntDec);
float resultLinea2 = pow(2,Linea2IntDec);
Serial.println(resultLinea2 );

////////////////////////////////////----- Operación para la parte Decimal -----////////////////////////////////////

float Linea2Fraccion = ((Linea2String[9]-48)*(0.5))+((Linea2String[10]-48)*(0.25))+
(Linea2String[11]-48)*(0.125)+(Linea2String[12]-48)*(0.063)+(Linea2String[13]-
48)*(0.031)+(Linea2String[14]-48)*(0.016)+(Linea2String[15]-48)*(0.008);
Linea2Total = resultLinea2 * (1+Linea2Fraccion);
Serial.println(Linea2Fraccion);
Serial.println(Linea2Total );

////////////////////////////////////***** VOLTAJE LÍNEA 3 *****////////////////////////////////////

Serial.println("// TENSION LINEA TRES ");
String strTL3 = String(au16data[4], HEX);
String strTL3b = String(au16data[5], HEX);
String strTL3T = strTL3 + strTL3b;
Serial.println(strTL3);
Serial.println(strTL3b);
Serial.println(strTL3T);

for(int s=0;s<4;s++) // Verifica y almacena el valor hexadecimal
{
    if(int(strTL3[s])<60)
    {
        Linea3[s]=int(strTL3[s])-48;
    }
}

```

```

else
{
    Linea3[s]=int(strTL3[s])-87;
}
Linea3Bin[s]= (String(Linea3[s].BIN));
}
Serial.println("//////////*****//////////");

for(int p=0;p<4;p++) //Método para llena 4 caracteres por binario de 4 bits
{ int e= Linea3Bin[p].length();
  switch(e)
  {
    case 1:
    Linea3Bin[p]= "000"+ Linea3Bin[p];
    Serial.println(Linea3Bin[p]);
    break;

    case 2:
    Linea3Bin[p]= "00"+ Linea3Bin[p];
    Serial.println(Linea3Bin[p]);
    break;

    case 3:
    Linea3Bin[p]= "0"+ Linea3Bin[p];
    Serial.println(Linea3Bin[p]);
    break;

    case 4:
    Linea3Bin[p]= Linea3Bin[p];
    Serial.println(Linea3Bin[p]);
    break;

    Serial.println(Linea3Bin[p]);
  }
}
String Linea3String = Linea3Bin[0] + Linea3Bin[1] + Linea3Bin[2] + Linea3Bin[3];
Serial.println(Linea3String);

```

//////////----- Operación para la parte Entera -----//////////

```

int Linea3IntDec = ((Linea3String[1]-48)*128)+((Linea3String[2]-48)*64)+
((Linea3String[3]-48)*32)+((Linea3String[4]-48)*16)+((Linea3String[5]-
48)*8)+((Linea3String[6]-48)*4)+((Linea3String[7]-48)*2)+((Linea3String[8]-48)*1);
Serial.println(Linea3IntDec);
Linea3IntDec=Linea3IntDec-127;
Serial.println(Linea3IntDec);
float resultLinea3 = pow(2,Linea3IntDec);
Serial.println(resultLinea3 );

```

//////////----- Operación para la parte Decimal -----//////////

```

float Linea3Fraccion = ((Linea3String[9]-48)*(0.5))+((Linea3String[10]-48)*(0.25))+
(Linea3String[11]-48)*(0.125)+(Linea3String[12]-48)*(0.063)+(Linea3String[13]-
48)*(0.031)+(Linea3String[14]-48)*(0.016)+(Linea3String[15]-48)*(0.008);
Linea3Total = resultLinea3 * (1+Linea3Fraccion);
Serial.println(Linea3Fraccion);
Serial.println(Linea3Total );

```

```

//////////*****CORRIENTE DE LA LÍNEA 1*****//////////

```

```

Serial.println("// CORRIENTE LINEA UNO ");
String strCL1 = String(aul6data[12], HEX);
String strCL1b = String(aul6data[13], HEX);
String strCL = strCL1 + strCL1b;
Serial.println(strCL1);
Serial.println(strCL1b);
Serial.println(strCL);

```

```

for(int s=0;s<4;s++) // Verifica y almacena el valor hexadecimal
{
  if(int(strCL1[s])<60)
  {
    CorrienteLineal[s]=int(strCL1[s])-48;
  }
  else
  {
    CorrienteLineal[s]=int(strCL1[s])-87;
  }
  CorrienteLinealBin[s]= (String(CorrienteLineal[s],BIN));
}
Serial.println("//////////*****//////////");

```

```

for(int p=0;p<4;p++) // Método para llenar 4 caracteres por binario de 4 bits
{ int e= CorrienteLinealBin[p].length();
  switch(e)
  {
    case 1:
      CorrienteLinealBin[p]= "000"+ CorrienteLinealBin[p];
      Serial.println(CorrienteLinealBin[p]);
      break;

    case 2:
      CorrienteLinealBin[p]= "00"+ CorrienteLinealBin[p];
      Serial.println(CorrienteLinealBin[p]);
      break;

    case 3:
      CorrienteLinealBin[p]= "0"+ CorrienteLinealBin[p];
      Serial.println(CorrienteLinealBin[p]);
      break;

    case 4:
      CorrienteLinealBin[p]= CorrienteLinealBin[p];

```

```

        Serial.println(CorrienteLinealBin[p]);
        break;

        Serial.println(CorrienteLinealBin[p]);
    }
}
String CorrienteLinealString = CorrienteLinealBin[0] + CorrienteLinealBin[1] +
CorrienteLinealBin[2] + CorrienteLinealBin[3];
Serial.println(CorrienteLinealString);

////////////////////////////////////----- Operación para la parte Entera -----////////////////////////////////////

int CorrienteLinealIntDec = ((CorrienteLinealString[1]-
48)*128)+((CorrienteLinealString[2]-48)*64)+((CorrienteLinealString[3]-
48)*32)+((CorrienteLinealString[4]-48)*16)+
        ((CorrienteLinealString[5]-48)*8)+((CorrienteLinealString[6]-
48)*4)+((CorrienteLinealString[7]-48)*2)+((CorrienteLinealString[8]-48)*1);
    Serial.println(CorrienteLinealIntDec);
    CorrienteLinealIntDec=CorrienteLinealIntDec-127;
    Serial.println(CorrienteLinealIntDec);
    float resultCorrienteLineal = pow(2,CorrienteLinealIntDec);
    Serial.println(resultCorrienteLineal );

////////////////////////////////////----- Operación para la parte Decimal -----////////////////////////////////////

float CorrienteLinealFraccion = ((CorrienteLinealString[9]-
48)*(0.5))+((CorrienteLinealString[10]-48)*(0.25))+((CorrienteLinealString[11]-
48)*(0.125))+((CorrienteLinealString[12]-48)*(0.063))+((CorrienteLinealString[13]-
48)*(0.031))+((CorrienteLinealString[14]-48)*(0.016))+((CorrienteLinealString[15]-
48)*(0.008));
float CorrienteLinealTotal = resultCorrienteLineal * (1+CorrienteLinealFraccion);
Serial.println(CorrienteLinealFraccion);
Serial.println(CorrienteLinealTotal );

////////////////////////////////////*****CORRIENTE DE LA LINEA 2*****////////////////////////////////////

    Serial.println("// CORRIENTE LINEA DOS ");
    String strCL2 = String(aul6data[14], HEX);
    String strCL2b = String(aul6data[15], HEX);
    String strCL2T = strCL2 + strCL2b;
    Serial.println(strCL2);
    Serial.println(strCL2b);
    Serial.println(strCL2T);

    for(int s=0;s<4;s++)
    {
        if(int(strCL2[s])<60)
        {
            CorrienteLinea2[s]=int(strCL2[s])-48;
        }
        else
        {

```

```

    CorrienteLinea2[s]=int(strCL2[s])-87;
}
CorrienteLinea2Bin[s]= (String(CorrienteLinea2[s],BIN));
}
Serial.println("//////////*****//////////");

for(int p=0;p<4;p++) // Método para llenar 4 caracteres por binario de 4 bits
{ int e= CorrienteLinea2Bin[p].length();
  switch(e)
  {
    case 1:
    CorrienteLinea2Bin[p]= "000"+ CorrienteLinea2Bin[p];
    Serial.println(CorrienteLinea2Bin[p]);
    break;

    case 2:
    CorrienteLinea2Bin[p]= "00"+ CorrienteLinea2Bin[p];
    Serial.println(CorrienteLinea2Bin[p]);
    break;

    case 3:
    CorrienteLinea2Bin[p]= "0"+ CorrienteLinea2Bin[p];
    Serial.println(CorrienteLinea2Bin[p]);
    break;

    case 4:
    CorrienteLinea2Bin[p]= CorrienteLinea2Bin[p];
    Serial.println(CorrienteLinea2Bin[p]);
    break;

    Serial.println(CorrienteLinea2Bin[p]);
  }
}
String CorrienteLinea2String = CorrienteLinea2Bin[0] + CorrienteLinea2Bin[1] +
CorrienteLinea2Bin[2] + CorrienteLinea2Bin[3];
Serial.println(CorrienteLinea2String);

//////////----- Operación para la parte Entera -----//////////

int CorrienteLinea2IntDec = ((CorrienteLinea2String[1]48)*128)+
((CorrienteLinea2String[2]-48)*64)+((CorrienteLinea2String[3]48)*32)+
((CorrienteLinea2String[4]-48)*16)+((CorrienteLinea2String[5]-
48)*8)+((CorrienteLinea2String[6]-48)*4)+((CorrienteLinea2String[7]-
48)*2)+((CorrienteLinea2String[8]-48)*1);
Serial.println(CorrienteLinea2IntDec);
CorrienteLinea2IntDec=CorrienteLinea2IntDec-127;
Serial.println(CorrienteLinea2IntDec);
float resultCorrienteLinea2 = pow(2,CorrienteLinea2IntDec);
Serial.println(resultCorrienteLinea2 );

//////////----- Operación para la parte Decimal -----//////////

```



```

float CorrienteLinea2Fraccion = ((CorrienteLinea2String[9]-48)*(0.5))+
((CorrienteLinea2String[10]-48)*(0.25))+((CorrienteLinea2String[11]-48)*(0.125)+
(CorrienteLinea2String[12]-48)*(0.063))+((CorrienteLinea2String[13]-
48)*(0.031))+((CorrienteLinea2String[14]-48)*(0.016))+((CorrienteLinea2String[15]-
48)*(0.008);
float CorrienteLinea2Total = resultCorrienteLinea2 * (1+CorrienteLinea2Fraccion);
Serial.println(CorrienteLinea2Fraccion);
Serial.println(CorrienteLinea2Total );

//////////*****CORRIENTE DE LA LÍNEA 3*****//////////

Serial.println("// CORRIENTE LINEA TRES ");
String strCL3 = String(aul6data[16], HEX);
String strCL3b = String(aul6data[17], HEX);
String strCL3T = strCL3 + strCL3b;
Serial.println(strCL3);
Serial.println(strCL3b);
Serial.println(strCL3T);

for(int s=0;s<4;s++) // Verifica y almacena el valor hexadecimal
{
  if(int(strCL3[s])<60)
  {
    CorrienteLinea3[s]=int(strCL3[s])-48;
  }
  else
  {
    CorrienteLinea3[s]=int(strCL3[s])-87;
  }
  CorrienteLinea3Bin[s] = (String(CorrienteLinea3[s],BIN));
}
Serial.println("//////////*****//////////");

for(int p=0;p<4;p++) // Método para llenar 4 caracteres por binario de 4 bits
{ int e= CorrienteLinea3Bin[p].length();
  switch(e)
  {
    case 1:
      CorrienteLinea3Bin[p]= "000"+ CorrienteLinea3Bin[p];
      Serial.println(CorrienteLinea3Bin[p]);
      break;

    case 2:
      CorrienteLinea3Bin[p]= "00"+ CorrienteLinea3Bin[p];
      Serial.println(CorrienteLinea3Bin[p]);
      break;

    case 3:
      CorrienteLinea3Bin[p]= "0"+ CorrienteLinea3Bin[p];
      Serial.println(CorrienteLinea3Bin[p]);
      break;
  }
}

```

```

        case 4:
            CorrienteLinea3Bin[p]= CorrienteLinea3Bin[p];
            Serial.println(CorrienteLinea3Bin[p]);
            break;

            Serial.println(CorrienteLinea3Bin[p]);
        }
    }
    String CorrienteLinea3String = CorrienteLinea3Bin[0] + CorrienteLinea3Bin[1] +
    CorrienteLinea3Bin[2] + CorrienteLinea3Bin[3];
    Serial.println(CorrienteLinea3String);

    ////////////////////////////////////////////////////////////////////----- Operación para la parte Entera -----//////////////////////////////////////////////////////////////////

    int CorrienteLinea3IntDec = ((CorrienteLinea3String[1]-48)*128)+
    ((CorrienteLinea3String[2]-48)*64)+((CorrienteLinea3String[3]-48)*32)+
    ((CorrienteLinea3String[4]-48)*16)+((CorrienteLinea3String[5]-
    48)*8)+((CorrienteLinea3String[6]-48)*4)+((CorrienteLinea3String[7]-
    48)*2)+((CorrienteLinea3String[8]-48)*1);
    Serial.println(CorrienteLinea3IntDec);
    CorrienteLinea3IntDec=CorrienteLinea3IntDec-127;
    Serial.println(CorrienteLinea3IntDec);
    float resultCorrienteLinea3 = pow(2,CorrienteLinea3IntDec);
    Serial.println(resultCorrienteLinea3 );

    ////////////////////////////////////////////////////////////////////----- Operación para la parte Decimal -----//////////////////////////////////////////////////////////////////

    float CorrienteLinea3Fraccion = ((CorrienteLinea3String[9]-48)*(0.5))+
    ((CorrienteLinea3String[10]-48)*(0.25))+((CorrienteLinea3String[11]-48)*(0.125)+
    (CorrienteLinea3String[12]-48)*(0.063)+(CorrienteLinea3String[13]-
    48)*(0.031)+(CorrienteLinea3String[14]-48)*(0.016)+(CorrienteLinea3String[15]-
    48)*(0.008);
    float CorrienteLinea3Total = resultCorrienteLinea3 * (1+CorrienteLinea3Fraccion);
    Serial.println(CorrienteLinea3Fraccion);
    Serial.println(CorrienteLinea3Total );

    ////////////////////////////////////////////////////////////////////*****POTENCIA DE LA LINEA 1*****//////////////////////////////////////////////////////////////////
    Serial.println("// POTENCIA LINEA UNO ");

    String strPL1 = String(au16data[24], HEX);
    String strPL1b = String(au16data[25], HEX);
    String strPL = strPL1 + strPL1b;
    Serial.println(strPL1);
    Serial.println(strPL1b);
    Serial.println(strPL);

    for(int s=0;s<4;s++) // verifica y almacena el valor hexadecimal
    {
        if(int(strPL1[s])<60)
        {
            PotenciaLinea1[s]=int(strPL1[s])-48;
        }
    }

```

```

else
{
    PotenciaLineal[s]=int(strPL1[s])-87;
}
PotenciaLinealBin[s]= (String(PotenciaLineal[s],BIN));
}
Serial.println("//////////*****//////////");

for(int p=0;p<4;p++) // Método para llena 4 caracteres por binario de 4 bits
{ int e= PotenciaLinealBin[p].length();
  switch(e)
  {
    case 1:
      PotenciaLinealBin[p]= "000"+ PotenciaLinealBin[p];
      Serial.println(PotenciaLinealBin[p]);
      break;

    case 2:
      PotenciaLinealBin[p]= "00"+ PotenciaLinealBin[p];
      Serial.println(PotenciaLinealBin[p]);
      break;

    case 3:
      PotenciaLinealBin[p]= "0"+ PotenciaLinealBin[p];
      Serial.println(PotenciaLinealBin[p]);
      break;

    case 4:
      PotenciaLinealBin[p]= PotenciaLinealBin[p];
      Serial.println(PotenciaLinealBin[p]);
      break;

    Serial.println(PotenciaLinealBin[p]);
  }
}
String PotenciaLinealString = PotenciaLinealBin[0] + PotenciaLinealBin[1] +
PotenciaLinealBin[2] + PotenciaLinealBin[3];
Serial.println(PotenciaLinealString);

//////////----- Operación para la parte Entera -----//////////

int PotenciaLinealIntDec = ((PotenciaLinealString[1]-48)*128)+
((PotenciaLinealString[2]-48)*64)+((PotenciaLinealString[3]-48)*32)+
((PotenciaLinealString[4]-48)*16)+((PotenciaLinealString[5]-
48)*8)+((PotenciaLinealString[6]-48)*4)+((PotenciaLinealString[7]-
48)*2)+((PotenciaLinealString[8]-48)*1);
Serial.println(PotenciaLinealIntDec);
PotenciaLinealIntDec=PotenciaLinealIntDec-127;
Serial.println(PotenciaLinealIntDec);
float resultPotenciaLineal = pow(2,PotenciaLinealIntDec);
Serial.println(resultPotenciaLineal );

```

```
////////////////////////////////----- Operación para la parte Decimal -----////////////////////////////////
```

```
float PotenciaLinealFraccion = ((PotenciaLinealString[9]-48)*(0.5))+((PotenciaLinealString[10]-48)*(0.25))+((PotenciaLinealString[11]-48)*(0.125))+((PotenciaLinealString[12]-48)*(0.063))+PotenciaLinealString[13]-48*(0.031)+((PotenciaLinealString[14]-48)*(0.016))+((PotenciaLinealString[15]-48)*(0.008));  
float PotenciaLinealTotal = resultPotenciaLineal * (1+PotenciaLinealFraccion);  
Serial.println(PotenciaLinealFraccion);  
Serial.println(PotenciaLinealTotal );
```

```
////////////////////////////////*****POTENCIA DE LA LINEA 2*****////////////////////////////////
```

```
Serial.println("// POTENCIA LINEA DOS ");
```

```
String strPL2 = String(au16data[26], HEX);  
String strPL2b = String(au16data[27], HEX);  
String strPL2T = strPL2 + strPL2b;  
Serial.println(strPL2);  
Serial.println(strPL2b);  
Serial.println(strPL2T);
```

```
for(int s=0;s<4;s++) // verifica y almacena el valor hexadecimal  
{  
  if(int(strPL2[s])<60)  
  {  
    PotenciaLinea2[s]=int(strPL2[s])-48;  
  }  
  else  
  {  
    PotenciaLinea2[s]=int(strPL2[s])-87;  
  }  
  PotenciaLinea2Bin[s] = (String(PotenciaLinea2[s],BIN));  
}  
Serial.println("////////*****////////");
```

```
for(int p=0;p<4;p++) // Método para llena 4 caracteres por binario de 4 bits  
{ int e= PotenciaLinea2Bin[p].length();  
  switch(e)  
  {  
    case 1:  
    PotenciaLinea2Bin[p]= "000"+ PotenciaLinea2Bin[p];  
    Serial.println(PotenciaLinea2Bin[p]);  
    break;  
  
    case 2:  
    PotenciaLinea2Bin[p]= "00"+ PotenciaLinea2Bin[p];  
    Serial.println(PotenciaLinea2Bin[p]);  
    break;  
  
    case 3:  
    PotenciaLinea2Bin[p]= "0"+ PotenciaLinea2Bin[p];  
    Serial.println(PotenciaLinea2Bin[p]);
```

```

        break;

        case 4:
        PotenciaLinea2Bin[p]= PotenciaLinea2Bin[p];
        Serial.println(PotenciaLinea2Bin[p]);
        break;

        Serial.println(PotenciaLinea2Bin[p]);
    }
}
String PotenciaLinea2String = PotenciaLinea2Bin[0] + PotenciaLinea2Bin[1] +
PotenciaLinea2Bin[2] + PotenciaLinea2Bin[3];
Serial.println(PotenciaLinea2String);

////////////////////////////////----- Operación para la parte Entera -----////////////////////////////////

int PotenciaLinea2IntDec = ((PotenciaLinea2String[1]-
48)*128)+((PotenciaLinea2String[2]-48)*64)+((PotenciaLinea2String[3]-
48)*32)+((PotenciaLinea2String[4]-48)*16)+((PotenciaLinea2String[5]-
48)*8)+((PotenciaLinea2String[6]-48)*4)+((PotenciaLinea2String[7]-
48)*2)+((PotenciaLinea2String[8]-48)*1);
Serial.println(PotenciaLinea2IntDec);
PotenciaLinea2IntDec=PotenciaLinea2IntDec-127;
Serial.println(PotenciaLinea2IntDec);
float resultPotenciaLinea2 = pow(2,PotenciaLinea2IntDec);
Serial.println(resultPotenciaLinea2 );

////////////////////////////////----- Operación para la parte Decimal -----////////////////////////////////

float PotenciaLinea2Fraccion = ((PotenciaLinea2String[9]-
48)*(0.5))+((PotenciaLinea2String[10]-48)*(0.25))+((PotenciaLinea2String[11]-
48)*(0.125))+((PotenciaLinea2String[12]-48)*(0.063))+((PotenciaLinea2String[13]-
48)*(0.031))+((PotenciaLinea2String[14]-48)*(0.016))+((PotenciaLinea2String[15]-48)*(0.008);
float PotenciaLinea2Total = resultPotenciaLinea2 * (1+PotenciaLinea2Fraccion);
Serial.println(PotenciaLinea2Fraccion);
Serial.println(PotenciaLinea2Total );

////////////////////////////////*****POTENCIA DE LA LINEA 3*****////////////////////////////////
Serial.println("// POTENCIA LINEA TRES ");

String strPL3 = String(au16data[28], HEX);
String strPL3b = String(au16data[29], HEX);
String strPL3T = strPL3 + strPL3b;
Serial.println(strPL3);
Serial.println(strPL3b);
Serial.println(strPL3T);

for(int s=0;s<4;s++) // verifica y almacena el valor hexadecimal
{
    if(int(strPL3[s])<60)
    {
        PotenciaLinea3[s]=int(strPL3[s])-48;
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        PotenciaLinea3[s]=int(strPL3[s])-87;
    }
    PotenciaLinea3Bin[s]= (String(PotenciaLinea3[s],BIN));
}
Serial.println("//////////*****//////////");

for(int p=0;p<4;p++) // Método para llena 4 caracteres por binario de 4 bits
{ int e= PotenciaLinea3Bin[p].length();
  switch(e)
  {
    case 1:
      PotenciaLinea3Bin[p]= "000"+ PotenciaLinea3Bin[p];
      Serial.println(PotenciaLinea3Bin[p]);
      break;

    case 2:
      PotenciaLinea3Bin[p]= "00"+ PotenciaLinea3Bin[p];
      Serial.println(PotenciaLinea3Bin[p]);
      break;

    case 3:
      PotenciaLinea3Bin[p]= "0"+ PotenciaLinea3Bin[p];
      Serial.println(PotenciaLinea3Bin[p]);
      break;

    case 4:
      PotenciaLinea3Bin[p]= PotenciaLinea3Bin[p];
      Serial.println(PotenciaLinea3Bin[p]);
      break;

    Serial.println(PotenciaLinea3Bin[p]);
  }
}
String PotenciaLinea3String = PotenciaLinea3Bin[0] + PotenciaLinea3Bin[1] +
PotenciaLinea3Bin[2] + PotenciaLinea3Bin[3];
Serial.println(PotenciaLinea3String);

//////////----- Operación para la parte Entera -----//////////

int PotenciaLinea3IntDec = ((PotenciaLinea3String[1]-
48)*128)+((PotenciaLinea3String[2]-48)*64)+((PotenciaLinea3String[3]-
48)*32)+((PotenciaLinea3String[4]-48)*16)+((PotenciaLinea3String[5]-
48)*8)+((PotenciaLinea3String[6]-48)*4)+((PotenciaLinea3String[7]-
48)*2)+((PotenciaLinea3String[8]-48)*1);
Serial.println(PotenciaLinea3IntDec);
PotenciaLinea3IntDec=PotenciaLinea3IntDec-127;
Serial.println(PotenciaLinea3IntDec);
float resultPotenciaLinea3 = pow(2,PotenciaLinea3IntDec);
Serial.println(resultPotenciaLinea3 );

```

//////////////////////////////////----- Operación para la parte Decimal -----//////////////////////////////////

```
float PotenciaLinea3Fraccion = ((PotenciaLinea3String[9]-
48)*(0.5))+((PotenciaLinea3String[10]-48)*(0.25))+((PotenciaLinea3String[11]-
48)*(0.125))+((PotenciaLinea3String[12]-48)*(0.063))+ ((PotenciaLinea3String[13]-
48)*(0.031))+((PotenciaLinea3String[14]-48)*(0.016))+((PotenciaLinea3String[15]-48)*(0.008);
float PotenciaLinea3Total = resultPotenciaLinea3 * (1+PotenciaLinea3Fraccion);
Serial.println(PotenciaLinea3Fraccion);
Serial.println(PotenciaLinea3Total);
```

//////////////////////////////////----- Resultados de datos leídos -----//////////////////////////////////

```
Serial.println("TENSIONES:");
Serial.println(Linea1Total);
Serial.println(Linea2Total); // Valor leído de tipo float de las tensiones
Serial.println(Linea3Total);
```

```
Serial.println("CORRIENTES:");
Serial.println(CorrienteLinea1Total);
Serial.println(CorrienteLinea2Total); // Valor leído de tipo float de las corrientes
Serial.println(CorrienteLinea3Total);
```

```
Serial.println("POTENCIAS:");
Serial.println(PotenciaLinea1Total);
Serial.println(PotenciaLinea2Total); // Valor leído de tipo float de las potencias
Serial.println(PotenciaLinea3Total);
Serial.println(" ");
Serial.println(auxGsmL1);
```

Código de modbus TCP

//////////////////////////////////***** SERVIDOR WEB *****//////////////////////////////////

```
client.println("HTTP/1.1 200 OK"); //Enviar un encabezado de respuesta http estándar
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("Connection: close"); //La conexión se cerrará después de completar la respuesta
client.println("Refresh: 10"); //Actualiza la página automáticamente cada 10 seg.
client.println();
client.println("<!DOCTYPE HTML>"); //Código de una página web en formato HTML
```

```
client.println(F("<html>\n<head>\n<title>Sistema de Monitoreo</title>\n</head>\n<body>"));
client.println("<body>");
client.println("<h1 style=text-align:center;>SISTEMA DE MONITOREO EL&Eacute;CTRICO</h1>");
client.println("<p style=text-align:center;><span style=font-size:22px;><strong>DATA CENTER - CIERCOM - FICA</strong></span></p>");
client.println("<p style=text-align:center;><img src=http://4.bp.blogspot.com/-22HKjFrezqw/UYNBACQGQXI/AAAAAAAAAEA/AWPvN5vzx2A/s320/logo-aso.jpg style=height: 80px; width:150px;/></p>");
client.println("<p style=text-align:center;>&nbsp;</p>");
```

```

client.println("<p style=text-align:center;><span style=text-align: center;>Mediciones de
variables realizadas al tablero de distribuci&oacute;n el&eacute;ctrico situado en el Data
Center de la Facultad de Ingenier&iacute;a&nbsp;en Ciencias Aplicadas (FICA) de la
Universidad T&eacute;cnica del Norte.</span></p>");
client.println("</body>");

client.println("<body>"); //Creaci&eacute;n de una tabla para los valores receptados
client.println("<table align=center border=0 cellpadding=1 cellspacing=1
style=width:500px>");
client.println("<caption>");
client.println("<p style=text-align: center><u><span style=font-size:24px><span
style=font-family:times new roman,times,serif><strong>VARIABLES DE
MEDICI&Oacute;N</strong></span></span></u></p>");
client.println("</caption>");
client.println("<tbody>");

client.println("<tr><td>"); //Tabla para los valores de voltaje
client.println("<table align=center border=1 cellpadding=1 cellspacing=1
style=height:100px;width:300px;>");
client.println("<caption>");
client.println("<p><strong>MEDICI&Oacute;N DE VOLTAJES</strong></p>");
client.println("</caption>");
client.println("<tbody><tr>");
client.println("<td>&nbsp; &nbsp; &nbsp;<strong>Voltaje L1 - N</strong></td>");
client.println("<td style=text-align:center>");
client.print(Linea1Total);
client.print(" &nbsp;[V] ");
client.print("</td></tr>");
client.println("<tr>");
client.println("<td>&nbsp; &nbsp; &nbsp;<strong>Voltaje L2 - N</strong></td>");
client.println("<td style=text-align:center>");
client.print(Linea2Total);
client.print(" &nbsp;[V] ");
client.print("</td></tr>");
client.println("<tr>");
client.println("<td>&nbsp; &nbsp; &nbsp;<strong>Voltaje L3 - N</strong></td>");
client.println("<td style=text-align:center>");
client.print(Linea3Total);
client.print(" &nbsp;[V] ");
client.println("</td></tr></tr></tbody></table></td>"); //Fin de la tabla

client.println("<td><span style=color:#FFFFFF>.....</span></td>");

client.println("<td colspan=2 rowspan=1>"); //Tabla para los valores de corrientes
client.println("<table align=center border=1 cellpadding=1 cellspacing=1
style=height:100px;width:300px;>");
client.println("<caption>");
client.println("<p><strong>MEDICI&Oacute;N DE CORRIENTES</strong></p>");
client.println("</caption>");
client.println("<tbody><tr>");
client.println("<td>&nbsp; &nbsp; &nbsp;<strong>Corriente L1</strong></td>");
client.println("<td style=text-align:center>");

```



```

client.print(CorrienteLinea1Total);
client.print(" &nbsp;[A] ");
client.print("</td></tr>");
client.println("<tr>");
client.println("<td>&nbsp; &nbsp; &nbsp;<strong>Coriente L2</strong></td>");
client.println("<td style=text-align:center>");
client.print(CorrienteLinea2Total);
client.print(" &nbsp;[A] ");
client.print("</td></tr>");
client.println("<tr>");
client.println("<td>&nbsp; &nbsp; &nbsp;<strong>Corriente L3</strong></td>");
client.println("<td style=text-align:center>");
client.print(CorrienteLinea3Total);
client.print(" &nbsp;[A] ");
client.println("</td></tr></tr></tbody></table></td>"); //Fin de la tabla de corriente

client.println("<tr><td>"); //Inicio de la tabla para los valores de potencia
client.println("<p>&nbsp;</p>");
client.println("</td>");
client.println("<td>&nbsp;</td>");
client.println("<td colspan=2 rowspan=1>&nbsp;</td></tr>");

client.println("<tr><td>");
client.println("<table align=center border=1 cellpadding=1 cellspacing=1
style=height:100px;width:300px;>");
client.println("<caption>");
client.println("<p><strong>MEDICI&Oacute;N DE POTENCIAS</strong></p>");
client.println("</caption><tbody>");
client.println("<tr>");
client.println("<td>&nbsp; &nbsp; &nbsp;<strong>Potencia L1</strong></td>");
client.println("<td style=text-align:center>");
client.print(PotenciaLinea1Total);
client.print(" &nbsp;[W] ");
client.print("</td></tr>");
client.println("<tr>");
client.println("<td><strong>&nbsp; &nbsp; &nbsp;Potencia L2</strong></td>");
client.println("<td style=text-align:center>");
client.print(PotenciaLinea2Total);
client.print(" &nbsp;[W] ");
client.print("</td></tr>");
client.println("<tr>");
client.println("<td><strong>&nbsp; &nbsp; &nbsp;Potencia
L3&nbsp;</strong></td>");
client.println("<td style=text-align:center>");
client.print(PotenciaLinea3Total);
client.print(" &nbsp;[W] ");
client.println("</td></tr></tr></tbody></table></td>"); //Fin de tabla de potencia

client.println("<td><span style=color:#FFFFFF>.....</span></td>");

client.println("<td colspan=2 rowspan=1>");

```

```

    client.println("<table align=center border=1 cellpadding=1 cellspacing=1
style=height:100px;width:300px;>");
    client.println("<caption>");
    client.println("<p><strong>TIEMPO DE RESPALDO</strong></p>");
    client.println("</caption>");
    client.println("<tbody><tr>");
    client.println("<td>&nbsp; &nbsp; &nbsp;<strong>Tiempo del Resp. del
UPS</strong></td>");
    client.println("<td style=text-align:center>");
    client.print(tiemporesp);
    client.print(" &nbsp; min. ");
    client.print("</td></tr>");
    client.println("<tr>");
    client.println("<td>&nbsp; &nbsp; &nbsp;<strong>N&uacute;mero de
Mensajes</strong></td>");
    client.println("<td style=text-align:center>");
    client.print(NumMensajes);
    client.println("</tr></tbody></table></td></tr></tbody></table>");
    client.println("<p>&nbsp;</p></body>");

//client.print("N&uacute;mero de Mensajes: ");
//client.print(" es ");
//client.print(NumMensajes);
//client.print(" de 100 SMS de Texto ");
client.println("</html>");
break;
    }
    if (c == '\n')
    {
        currentLineIsBlank = true;           // Se comienza una nueva línea
    }
    else if (c != '\r')
    {
        currentLineIsBlank = false;
    }
    }
}
}
delay(1);                               //Darle tiempo al navegador web para recibir los datos
client.stop();                           //Cierra la conexión
Serial.println("client disconnected");
}
}
break;
}
}

```

Código del módulo GSM

```

if((LinealTotal < 2)&&(auxGsmL1==0))      //Verificación de valores sondeados
{
    Serial2.print("AT+CLIP=1\r");
    delay(1000);
    Serial2.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");
    delay(1000);
}

```

```

Serial2.print("AT+CMGF=1\r\n");           // Comando para el envio de mensaje SMS.
delay(1000);
Serial2.println(telefonoDestino);         // Send new SMS command and message number.
delay(1000);
Serial2.println("FALLA EN EL SISTEMA ELECTRICO - LINEA 1"); // Contenido del
delay(1000);                               SMS a enviarse.
Serial2.println((char)26);
delay(1000);
Serial.println("SMS Sent!");
Serial.println("FALLA EN EL SISTEMA ELECTRICO - LINEA 1"); // Mensaje de
                                                    Verificación en el terminal serial

auxGsmL1=1;
NumMensajes=NumMensajes+1;                // Contador de SMS enviados
}
if(Linea1Total > 10)
{
    auxGsmL1=0;
}

```

//////////----- Notificación de SMS de la Línea Eléctrica 2 -----//////////

```

if((Linea2Total < 2)&&(auxGsmL2==0))       //Verificación de valores sondeados
{
    Serial2.print("AT+CLIP=1\r");
    delay(1000);
    Serial2.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");
    delay(1000);
    Serial2.print("AT+CMGF=1\r\n");       // Comando para el envio de mensaje SMS.
    delay(1000);
    Serial2.println(telefonoDestino);     //Enviar un sms al número destinatario
    delay(1000);
    Serial2.println("FALLA EN EL SISTEMA ELECTRICO - LINEA 2");
    delay(1000);
    Serial2.println((char)26);
    delay(1000);
    Serial.println("SMS Sent!");
    Serial.println("FALLA EN EL SISTEMA ELECTRICO - LINEA 2");
    auxGsmL2=1;
    NumMensajes=NumMensajes+1;
}
if(Linea2Total > 10)
{
    auxGsmL2=0;
}

```

//////////----- Notificación de SMS de la Línea Eléctrica 3 -----//////////

```

if((Linea3Total < 2)&&(auxGsmL3==0))       //Verificación de valores sondeados
{
    Serial2.print("AT+CLIP=1\r");
    delay(1000);
}

```

```

Serial2.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");
delay(1000);
Serial2.print("AT+CMGF=1\r\n");
delay(1000);
Serial2.println(telefonoDestino);
delay(1000);
Serial2.println("FALLA EN EL SISTEMA ELECTRICO - LINEA 3");
delay(1000);
Serial2.println((char)26);
delay(1000);
Serial.println("SMS Sent!");
Serial.println("FALLA EN EL SISTEMA ELECTRICO - LINEA 3");
auxGsmL3=1;
NumMensajes=NumMensajes+1;
}

if(Linea3Total > 10)
{
    auxGsmL3=0;
}
Serial.print("MENSAJES USADOS: ");
Serial.print(NumMensajes );
Serial.println(" DE 30 SMS TOTALES");
Serial.println("-----");
}
break;
}

```

ANEXO 7

Transformador de corriente TC

TRANSFORMADOR CORRIENTE TC6 400/5A [...]



Transformador corriente TC6 400/5 BERGEN. Tipo barra pasante. Tipos desde 40 hasta 4000A. Diámetro interior desde 20,3 hasta 63mm, según tipo. Dimensión pletina desde 25x5mm hasta 30x100mm. Se adjunta en una hoja el certificado del transformador. Accesorio para fijación en carril DIN (Tipos TC5 y TC6). Tipos codificables de secundario.../5A (bajo demanda.../1A). Convertir una corriente nominal elevada a una de más baja para poder ser medida por un equipo. En Instalaciones donde es posible para el suministro eléctrico para poder instalar los transformadores. Características eléctricas frecuencia 50 / 60Hz. Tensión de aislamiento 3kVc.a. Corriente térmica de cortocircuito, Ith 60In. Corriente dinámica Idyn 2,5Ith. Tensión más elevada para el material 0,72kVc.a. Clase térmica B (130 °C). Tipo de encapsulado Plástico V0 autoextinguible. Factor de seguridad FS 5. Bornes secundarios precintables Sí. Terminales secundarios IP 20. Fijación en carril DIN TC5 y TC6. Normas IEC 44-1, BS2627.

Marca:	CIRCUTOR CIRCUTOR,S.A.
Gama:	Transformadores de corriente y shunts
Modelo:	TC
Referencia:	M70335.
EAN/GTIN:	8433059022044
Código Telematel:	0079047992
Referencia anterior:	M70335

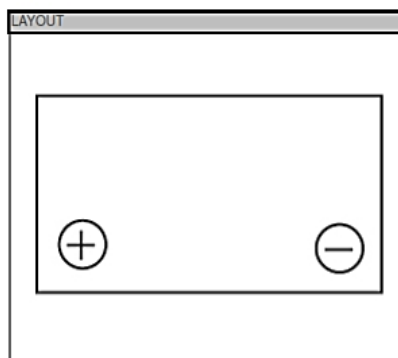
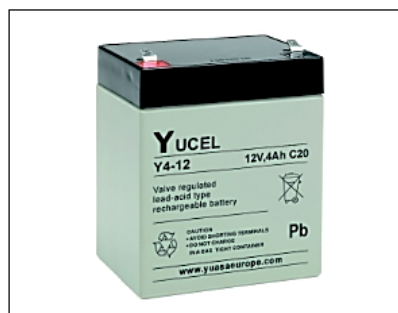
ANEXO 8

Batería recargable

Yucel-Series - Valve Regulated Lead Acid Battery Y4-12

SPECIFICATIONS		
Nominal voltage	12	V
20-hr rate Capacity to 1.75VPC at 20°C	4	Ah
10-hr rate Capacity to 1.75VPC at 20°C	3.7	Ah
DIMENSIONS		
Length	90 (±1)	mm
Width	70 (±1)	mm
Height	101 (±1)	mm
(height over terminals)	107 (±2)	mm
Mass (typical)	1.6	kg
TERMINAL TYPE		
FASTON (Quickfit / release)	4.75	mm
OPERATING TEMPERATURE RANGE		
Storage	-20°C to +60°C	
Charge	-15°C to +50°C	
Discharge	-20°C to +60°C	
STORAGE		
Capacity loss per month at 20°C (approx)	3	%
CASE MATERIAL		
Standard Option	ABS (UL 94HB)	
Flame retardant option (FR)	ABS (UL94-V0)	
CHARGE VOLTAGE		
Float charge voltage at 20°C	13.65 (±1%)	V
	2.275 (±1%)	V/cell
Float Charge voltage temperature correction factor (for variations from the standard 20°C)	-3	mV/cell/°C
Cyclic (or Boost) charge at 20°C	14.5 (±3%)	V
	2.42 (±3%)	V/cell
Cyclic Charge voltage temperature correction factor (for variations from the standard 20°C)	-4	mV/cell/°C
CHARGE CURRENT		
Float charge current limit	No limit	A
Cyclic (or Boost) charge current limit	1	A
MAXIMUM DISCHARGE CURRENT		
1 minute	40	A
SHORT-CIRCUIT CURRENT & INTERNAL RESISTANCE (according to EN IEC 60896-21)		
Internal resistance	N/A	mΩ
Short-Circuit current	N/A	A
IMPEDANCE		
Measured at 1 kHz	40	mΩ
PERFORMANCE & CHARACTERISTICS		
Refer to the technical manual	YUCEL	
DESIGN LIFE		
EUROBAT Classification: Standard Commercial	3 to 5	years
Yuasa design life @ 20°C	up to 5	years
SAFETY		
Installation Can be installed and operated in any orientation except permanently inverted		
Handles Batteries must not be suspended by their handles (where fitted)		
Vent valves Each cell is fitted with a low pressure release valve to allow gasses to escape and then reseal.		
Gas Release VRLA Batteries release hydrogen gas which can form explosive mixtures in air. Do not place inside a sealed container		
Recycling YUASA's VRLA batteries must be recycled at the end of life in accordance with local and national laws and regulations		

Data Sheet



3RD PARTY CERTIFICATIONS
 ISO 9001 - Quality Management Systems
 ISO 14001 - Environmental Management Systems
 EN 18001 - OHSAS Management Systems
 UNDERWRITERS LABORATORIES Inc.



STANDARDS
 IEC61056



ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE
 Issue No.: V.1 / Issue Date: July 2010



YUASA BATTERY SALES UK LTD.
 Unit 22
 Rassau Industrial Estate
 Ebbw Vale, Gwent
 NP23 5SD
 UK

www.yuasaeurope.com

YUCEL

ABSTRACT

The objective of this project is to design and implement a monitoring system to generate notifications of faults in electrical power systems for the distribution board in the FICA data center at the “Universidad Técnica del Norte”.

The electrical variables such as voltage, current and power can be monitored in real time by means of three ways: the first option is on site, which is directly from the digital meter, the second option is via Ethernet through an established IP address and the last option is based on using text messaging (SMS) to notify the end-user. The system is designed according to IEC 61557-12 standards and DIN EN 61000-4-2,5,11 which combines behavior, compatibility and the use of electrical devices in low voltage distribution systems.

For the project it was necessary to use a digital module for the reading of low voltage electrical variables, a GSM communication module for the sending of SMS messaging immediate notifications once a fault appears, an Arduino Mega microcontroller that will process the information and a Ethernet socket thus achieving a communication with the electrical world of the distribution board in order to monitor in real time the electrical behavior of the power supplied to the computer equipment of the data center.

This system can be implemented at low or large scale to monitor variables and electrical states in different locations that is scalable at low price and low complexity.

Victor Rodríguez
17 15496129
