



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTOR: RODRÍGUEZ CHACÓN, OSCAR RAÚL

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO
ENERGÉTICO EN EL CAMPUS RODRÍGUEZ LARA – ESPE EXTENSIÓN
LATACUNGA**

DIRECTOR: ING. ORTIZ, DIEGO

CODIRECTOR: ING. RIVAS, DAVID

LATACUNGA, JUNIO 2014

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICADO

ING. DIEGO ORTIZ (DIRECTOR)
ING. DAVID RIVAS (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO ENERGÉTICO EN EL CAMPUS RODRÍGUEZ LARA – ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**”, realizado por el señor: RODRÍGUEZ CHACÓN OSCAR RAÚL, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, se recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autoriza el señor: Rodríguez Chacón Oscar Raúl, que lo entreguen al Ing. Wilson Sánchez O., en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Junio del 2014

.....
Ing. Diego Ortiz
DIRECTOR

.....
Ing. David Rivas
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, Oscar Raúl Rodríguez Chacón

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO ENERGÉTICO EN EL CAMPUS RODRÍGUEZ LARA – ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de autoría propia.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Junio del 2014

.....
Oscar Raúl Rodríguez Chacón

CI: N°.- 0502782030

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, Oscar Raúl Rodríguez Chacón

AUTORIZO

A la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el trabajo “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO ENERGÉTICO EN EL CAMPUS RODRÍGUEZ LARA – ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Junio del 2014

.....
Oscar Raúl Rodríguez Chacón

CI: N°.- 0502782030

DEDICATORIA

Dedico todo el esfuerzo desarrollado durante mi carrera, con mucho cariño a mi madre JANNETH quien más que una madre ha sido una amiga, que a pesar de no encontrarse constantemente conmigo, ha sabido guiarme por el camino correcto y apoyarme incondicionalmente durante el transcurso de mi carrera, siendo un ejemplo a seguir hasta alcanzar mis metas.

Oscar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis padres por haberme dado la vida, a mis compañeros por haber compartido conmigo experiencias de vida y académicas, a mis hermanos, a mis profesores que fueron quienes me impartieron el conocimiento técnico y humano que me servirá de mucho durante la vida profesional. Agradezco al personal técnico de la ESPE-L, amigos, familiares, que de una u otra forma formaron parte de éste proceso, siendo una motivación personal para escalar un peldaño más en mi vida profesional y humana.

A mi director de tesis, Ing. Diego Ortiz por su esfuerzo y dedicación, quien con su conocimiento, experiencia, paciencia y motivación ha sido un pilar fundamental para poder culminar con éxito mi carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY	xvi
CAPITULO I.....	1
ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Generalidades	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Planteamiento del Problema	2
1.1.3. Objetivo general	3
1.1.4. Objetivos específicos	3
1.1.5. Justificación.....	3
1.1.6. Alcances y metas	4
1.2. Introducción.....	6
1.2.1. Clasificación de las fuentes de Energía.	7
1.2.2. Energía Eléctrica.	8
1.2.3. Fuentes de energía Eléctrica.....	9
1.2.4. Consecuencias del Consumo de Energía	10
1.3. Distribución del Agua en el Mundo.....	11
1.3.1. Uso Racional del Agua.	12
1.4. Eficiencia Energética.....	13
1.4.1. ¿Qué es la eficiencia Energética?	14
1.5. Redes inteligentes o smart grids.	15

1.5.1. Iniciativas en EE.UU.....	16
1.5.3. Iniciativas en Japón.....	17
1.5.4. Iniciativas en China	17
1.5.5. Concepto de Red Inteligente	18
1.5.6. Arquitectura de comunicaciones de Smart Grid.	20
1.6. Medidores Inteligentes de Energía.....	25
1.6.1. Definición.....	25
1.6.2. Medidores Inteligentes de Energía Eléctrica.	25
1.7. Protocolos de comunicación industrial	27
1.7.1. Niveles Jerárquicos en Sistemas de Automatización Industrial.....	28
1.7.2. Nivel de campo.....	29
1.7.3. Nivel de célula	30
1.7.4. Nivel de área	31
1.7.5. Nivel de planta.....	31
1.7.6. Medios de transmisión.	31
1.8. Protocolo de comunicación industrial Modbus	31
1.8.1. Los dos modos de transmisión serial MODBUS.....	35
1.8.2. Modo ASCII.....	35
1.8.3. Modo RTU.....	37
1.9. Estandar Zigbee 802.15.4	40
1.9.1. Características del Estándar ZigBee 802.15.4	41
1.9.2. Tipos de Dispositivos ZigBee	43
1.9.3. Comparativa entre Tecnologías Inalámbricas	44
1.10. Sistema de Adquisición de Datos (SAD).	45
1.12. Servidores Web.....	49
1.12.1 Protocolo HTTP.....	50
1.12.2 El Lenguaje HTML.....	50
1.12.3 Aplicaciones WEB	51
1.12.4 Tipos de Aplicaciones WEB.	52
1.12.5 Base de datos MySQL.	52
1.12.6 Servidor Web.....	53

CAPÍTULO II.....	55
DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE MONITOREO.....	55
2.1. Diseño y selección del Medidor de Energía Eléctrica.....	55
2.1.1. Parámetros Técnicos de la red de Baja Tensión a monitorear.....	56
2.1.2. Selección del Medidor de Energía Eléctrica Sentron PAC 3200	57
2.1.3. Diseño de los Transformadores de Corriente TC´s para medición....	58
2.1.4. Datos técnicos del Medidor Sentron PAC 3200	59
2.1.5. Funciones de registro del Multimedidor Sentron PAC 3200.....	61
2.1.6. Registros Modbus del Medidor Sentron PAC 3200	62
2.2. Diseño y selección del sensor de Nivel de Agua.....	63
2.2.1. Sensor de Nivel Ultrasónico UC6000 – 30GM PEPPERL + FLOCKS. 64	
2.3. Diseño y selección de los módulos de comunicación Zigbee.....	66
2.3.1. Módulos Xbee PRO S2B.....	67
2.3.2. Características Técnicas de los módulos Xbee PRO S2B.	67
2.3.3. Circuito básico de Conexión para el Xbee.....	68
2.3.4. Tarjeta Arduino y módulo Xbee Shield.	69
2.4. Diseño del sistema de monitoreo energético mediante labview.....	71
2.4.1. Diseño Sistema de Monitoreo de Consumo de Energía Eléctrica.	72
2.4.2. Diseño Sistema de Monitoreo de Consumo de Agua.....	79
2.4.3. Diseño de la Base de datos (DB) para el almacenamiento datos.	86
2.5. Diseño página web para el monitoreo de consumo de energía.....	89
CAPÍTULO III.....	94
IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE MONITOREO ENERGÉTICO.....	94
3.1. Implementación del Sistema de Monitoreo de Energía Eléctrica.	94
3.1.1. Implementación del SENTRON PAC 3200.....	95
3.2. Configuración de parámetros técnicos del Sentron PAC 3200.....	98
3.3. Implementación del sistema de monitoreo de consumo de agua....	100
3.3.1. Implementación de los módulos coordinador y dispositivo final	101
3.3.2. Implementación de la Tarjeta de Adquisición de Datos Arduino	105
3.3.3. Implementación del sensor de Nivel Pepper Flocks UC6000.....	106

CAPÍTULO IV	108
PRUEBAS Y RESULTADOS	108
4.1. Pruebas de monitoreo de parámetros eléctricos.	108
4.2. Monitoreo de consumo de energía eléctrica con servicios web	112
4.3. Demanda de Potencia diaria en el campus Rodríguez Lara	115
4.4. Pruebas del Sistema de Monitoreo de Agua en LabVIEW	118
4.5. Monitoreo de consumo de agua mediante servicios web	120
CAPÍTULO V	122
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	122
5.1. CONCLUSIONES	122
5.2. RECOMENDACIONES.....	124
BIBLIOGRAFÍA Y NETGRAFÍA.....	125
ANEXOS.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1: Energía	6
Figura 1.2: Energía Eléctrica	8
Figura 1.3: Fuentes de Energía Primarias	9
Figura 1.4: Consecuencias del efecto invernadero.....	11
Figura 1.5: Distribución del Agua.....	12
Figura 1.6: Uso Racional del Agua	13
Figura 1.7: Diagrama de bloques de Eficiencia Energética	15
Figura 1.8: Modelo Energético Futuro.....	18
Figura 1.9: Modelo de cuatro niveles para la implantación de Smart Grid..	21
Figura 1.10: Infraestructura de comunicaciones para Smart Grid.....	22
Figura 1.11: Estándares y tecnologías a varios segmentos de Smart Grid.	23
Figura 1.12: Estandar IEC 61850 en Subestaciones.	24
Figura 1.13: Medidor Inteligente de energía eléctrica	26
Figura 1.14: Ejemplo de sistema de lectura.....	27
Figura 1.15: Jerarquía de un Sistema de Automatización Industrial.....	29
Figura 1.16: Logotipo del Protocolo MODBUS	32
Figura 1.17: Ciclo Petición-Respuesta Maestro-Esclavo	34
Figura 1.18: Trama Modbus RTU encapsulada sobre Modbus/TCP.	39
Figura 1.19: Arquitectura Modbus/TCP. Maestros en el lado TCP	40
Figura 1.20: Estándar ZigBee 802.15.4	41
Figura 1.21: Dispositivos ZigBee	43
Figura 1.22: Etapas de un SAD.	45
Figura 1.23: Logotipo de LabView	46
Figura 1.24: Panel Frontal de Labview	47
Figura 1.25: Diagrama de bloques de LabView	48
Figura 1.26: Arquitectura de un Servidor Web	53
Figura 1.27: Modelo Cliente Servidor.....	54

CAPÍTULO II

Figura 2.1: Multimedidor SENTRON PAC 3200 marca Siemens.....	57
Figura 2.2: Transformador de Corriente TC.....	58
Figura 2.3: Comunicación Modbus TCP-IP Sentron PAC 3200.....	62
Figura 2.4: Tanque de agua campus politécnico	63
Figura 2.5: Sensor de Nivel Ultrasónico UC6000 Pepperl + fucks.....	64
Figura 2.6: Salida Analógica del sensor UC6000.....	66
Figura 2.7: Módulos Xbee PRO S2B	67

Figura 2.8: Circuito de Conexión del módulo Xbee.....	69
Figura 2.9: Tarjeta Arduino Uno R3	70
Figura 2.10: Módulo Xbee Shield para arduino.....	71
Figura 2.11: Sistema de Monitoreo Energético	72
Figura 2.12: Librería NI Modbus de Labview	73
Figura 2.13: HMI de parámetros de configuración del Sentron PAC 3200. .	75
Figura 2.14: Diagrama parámetros de configuración Sentron PAC 3200 ...	75
Figura 2.15: Diagrama comunicación Modbus Sentron PAC 3200	76
Figura 2.16: HMI sistema de monitoreo de consumo de energía.....	77
Figura 2.17: Diagrama de monitoreo de consumo de energía eléctrica.....	78
Figura 2.18: Diagrama de flujo sistema de consumo de energía.	79
Figura 2.19: Diagrama de bloques adquisición de datos de nivel de agua. .	81
Figura 2.20: Panel de configuración serial entre Xbee y LabVIEW.....	82
Figura 2.21: Diagrama de Bloques configuración Xbee y LabVIEW.	82
Figura 2.22: Diagrama de flujo configuración serial xbee y labview.....	83
Figura 2.23: HMI del sistema de monitoreo de consumo de agua.	84
Figura 2.24: Diagrama de bloques de monitoreo de consumo de agua.....	84
Figura 2.25: Diagrama de flujo del sistema de monitoreo de agua.	85
Figura 2.26: Labview NI Database Connectivity Toolkit.	86
Figura 2.27: Jerarquía de comunicación entre labview y la base de datos. .	87
Figura 2.28: Base de datos MySQL de consumo de energía.	88
Figura 2.29: Estructura de la base de datos MySQL.	89
Figura 2.30: Página web principal del sistema de monitoreo energético	91
Figura 2.31: Página web diseñada para el consumo de energía eléctrica...	92
Figura 2.32: Página web diseñada para el monitoreo de consumo de agua	93

CAPÍTULO III

Figura 3.1: Equipos del sistema de monitoreo de energía eléctrica.....	95
Figura 3.2: Implementación de los transformadores de corriente.	96
Figura 3.3: Conexión del medidor de energía Sentron PAC 3200.	96
Figura 3.4: Tipo de conexión 3P4W.....	97
Figura 3.5: Implementación del medidor de parámetros eléctricos.....	98
Figura 3.6: Configuración del Sentron pac mediante software.	99
Figura 3.7: Diagrama de bloques de comunicación del consumo de agua	100
Figura 3.8: Módulo dispositivo final sistema de consumo de agua	101
Figura 3.9: Programación del Xbee – dispositivo final	102
Figura 3.10: Módulo coordinador sistema de consumo en agua	103
Figura 3.11: Programación del Xbee – coordinador.....	104
Figura 3.12: Software de programación Arduino.....	105

Figura 3.13: Implementación del sensor de nivel.....	106
Figura 3.14: Software de programación Ultra 3000	107

CAPÍTULO IV

Figura 4.1: Medidores de Energía.....	109
Figura 4.2: Gráfico de consumo de energía eléctrica en KWh.....	113
Figura 4.3: Monitoreo de consumo en KWh mediante servicios web.....	114
Figura 4.4: Curva de demanda de Potencia diaria en (KWh).....	115
Figura 4.5: Sistema de Monitoreo en Agua LabVIEW.....	119
Figura 4.6: Monitoreo del consumo en Agua mediante servicios web	121

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1.- Características de las Smart Grids.	20
Tabla 1.2.- Formato Modo Modbus-ASCII.	36
Tabla 1.3.- Trama del Mensaje Modbus ASCII	36
Tabla 1.4.- Formato Modo Modbus-RTU.	37
Tabla 1.5.- Trama del Mensaje Modbus RTU	38
Tabla 1.6.- Comparativa entre las tecnologías inalámbricas	44

CAPÍTULO II

Tabla 2.1.- Datos de la Cámara de Transformación	56
Tabla 2.2.- Características Técnicas de los TC's	59
Tabla 2.3.- Parámetros Técnicos del Medidor Sentron Pac 3200.....	60
Tabla 2.4.- Características Técnicas Tanque de Agua	63
Tabla 2.5.- Características Técnicas del Sensor de nivel UC6000	65
Tabla 2.6.- Características Técnicas Xbee PRO S2B.....	68
Tabla 2.7.- Parámetros de configuración Modbus Sentron PAC y labview..	74

CAPÍTULO III

Tabla 3.1.- Parámetros de configuración Sentron PAC 3200	99
Tabla 3.2.- Parámetros de programación de los dispositivos Xbee	104
Tabla 3.3.- Parámetros de programación software Ultra 3000	107

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1.- Contrastación de medidas de voltaje	109
Tabla 4.2.- Contrastación de medidas de Potencia Activa.....	110
Tabla 4.3.- Contrastación de medidas de Potencia Aparente	111
Tabla 4.4.- Contrastación de medidas de corrientes de línea y frecuencia	111
Tabla 4.5.- Base de Datos consumo de energía eléctrica en KWh.....	112
Tabla 4.6.- Determinación de la demanda del edificio central del campus.	117
Tabla 4.7.- Demanda de potencia Vs potencia instalada.....	118
Tabla 4.8.- Análisis de Resultados del sistema de monitoreo en agua	119
Tabla 4.9.- Base de datos del consumo de agua 15/05/2014	120

RESUMEN

La presente tesis, se ha elaborado con la finalidad de implementar un Sistema de Monitoreo Energético en el Campus “Rodríguez Lara” Espe Extensión Latacunga, ésta tecnología permitirá a cualquier persona mediante servicios web, monitorear fácilmente el consumo de energía en el nuevo campus, mediante una plataforma virtual amigable para el usuario y las autoridades de la ESPE-L, siendo a la vez un instrumento de evaluación para proyectos futuros, con los cuales se podrá realizar Gestión de Energía, lo que permitirá que la comunidad politécnica tome conciencia del uso racional de los recursos energéticos. Además, se lleva a cabo un estudio práctico de monitorización de la energía consumida en el campus Rodríguez Lara mediante una red inteligente, que integra el consumo de energía eléctrica y agua, a la cual se la podrá integrar otras fuentes de energía, como generación distribuida de origen renovable, cargas locales, cargas de servicio especial, estaciones meteorológicas, entre otras. El proyecto implementado cuenta con una página web amigable para el monitoreo mediante el recurso de agua en litros y del consumo de energía eléctrica relacionando los KWh con lámparas incandescentes, cuenta con la posibilidad de descargar los datos históricos de consumo en formato xls, lo que ofrece una información de consumo necesaria para realizar diferentes estudios relacionados con eficiencia energética. El proyecto fue diseñado e implementado acorde al adelanto tecnológico desarrollados en países del extranjero, siendo un aporte hacia la innovación en sistemas de monitoreo energético en el Ecuador, fomentando al desarrollo de nuevas tecnologías en Universidades del país.

Palabras Clave: Recursos Energéticos, Eficiencia Energética, Red Inteligente, Energía Renovable, Monitoreo Web.

SUMMARY

The project has been developed in order to implement a system of Energy Monitoring on Campus "Rodríguez Lara" ESPE Extension Latacunga, this technology will allow anyone using web services easily monitor energy consumption in the new campus, through a friendly virtual platform for the user and the authorities of the University. It carries out a study of monitoring the energy consumed in the campus Rodríguez - Lara through an intelligent network that integrates energy consumption and water, and which could integrate the other energy sources, such as distributed generation from renewable sources, local charges, special service charges, weather stations, among others. The project has implemented a user-friendly website for monitoring through the use of water in liters and power consumption KWh relating the incandescent lamps, have the ability to download historical consumption data in xls format, which provides consumer information needed to perform various studies related to energy efficiency. The project was designed and implemented according to the technological advancement in developed foreign countries, being a contribution to innovation in energy monitoring systems in Ecuador, encouraging the development of new technologies in Universities of the country.

Keywords: Energy Resources, Energy Efficiency, Smart Grid, Renewable Energy, Monitoring Web.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Generalidades

1.1.1. Antecedentes

En el mundo crece el interés por desarrollar políticas y regulaciones que incentiven la creación de conciencia social respecto a la utilización de las diferentes energías como eléctrica, solar, hídrica, etc, la utilización adecuada de éstas energías dentro del mundo actual hace posible la implementación de sistemas de monitoreo de éstas variables, estos sistemas son necesarios implementarlos en lugares en donde se requiera realizar gestión de la energía.

Las tecnologías denominadas Smart Meters o medidores inteligentes podrían apoyar estos propósitos al ser capaces de medir la energía consumida y realizar la gestión de la demanda de energía eléctrica, además del beneficio medioambiental, su implementación mejora la eficiencia de las redes de transmisión y distribución energética, además de permitir el monitoreo de diferentes variables como gas, temperatura, sistemas de ventilación etc.

Estas acciones deben estar acompañadas en muchos casos de inversiones en tecnología, gestión de procesos y modificación de hábitos conductuales de los consumidores.

Los sistemas de monitoreo en la actualidad poseen la ventaja de ser visualizados por los consumidores mediante servidores web, ya que con la tecnología disponible permite a los usuarios monitorear fácilmente su consumo de energía acorde a la tecnología existente, pues todas las personas pueden acceder a internet desde cualquier lugar del mundo.

La implementación de sistemas automáticos inteligentes monitoreados mediante servidores web, hacen que los consumidores tengan un conocimiento en tiempo real, semanal, mensual, anual del consumo energético tanto en energía eléctrica, como en agua, es por ello que se ha visto la necesidad de implementar este sistema de monitoreo de energía en el Campus “Rodríguez Lara”- Espe Extensión Latacunga, para lograr tener una visión del consumo energético en el campus, para posteriormente realizar gestión de la energía consumida.

1.1.2. Planteamiento del Problema

Actualmente el Campus “Rodríguez Lara”- Espe Extensión Latacunga cuenta con varias fuentes de energía como la eléctrica, solar, agua, el agua y la energía eléctrica son monitoreados mediante interfaces poco amigables, y que a la vez tienen acceso a éstas interfaces solo personal técnico autorizado, lo que hace muy difícil para el resto de la comunidad politécnica conocer el consumo real de recursos que existe en el nuevo campus.

El presente proyecto tiene como finalidad la implementación de un Sistema de Monitoreo Energético en el Campus “Rodríguez Lara”, ésta tecnología permitirá a cualquier persona mediante servicios web, monitorear fácilmente el consumo de energía en el nuevo campus, mediante una plataforma virtual amigable para el usuario y las autoridades de la ESPE-L, siendo a la vez un instrumento de evaluación para proyectos futuros, con los cuales se podrá realizar Gestión de Energía, lo cual hará que la comunidad politécnica tome conciencia del uso racional de los recursos energéticos.

1.1.3. Objetivo general

DISEÑAR E IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE MONITOREO DE CONSUMO ENERGÉTICO EN EL CAMPUS RODRÍGUEZ LARA - ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA A TRAVÉS DE SERVICIOS WEB

1.1.4. Objetivos específicos

- Desarrollar el estado del arte.
- Determinar los requerimientos técnicos de los diferentes equipos como medidores de energía, tarjeta de adquisición de datos, que se necesitará para realizar el proyecto.
- Determinar el protocolo de comunicación entre los equipos de medida y el software de adquisición de datos.
- Diseñar un sistema de Adquisición de datos, mediante software.
- Implementar los equipos de medición de energía y tarjeta de adquisición de datos.
- Diseñar e Implementar una base de datos históricos de consumo de energía en el campus.
- Realizar el monitoreo de la energía mediante el software de adquisición de datos y los diferentes medidores de energía.
- Diseñar e implementar una plataforma web amigable que se utilizará para monitorear los datos que estará disponible a todos los cibernautas.

1.1.5. Justificación

En la actualidad el monitoreo de la energía eléctrica en el campus Rodríguez Lara - Espe Extensión Latacunga se lo realiza independientemente en la sala de control, a ésta información únicamente tienen acceso el personal técnico y personal autorizado, en lo que respecta a la información del consumo de agua potable no se tiene acceso a ésta información ya que el monitoreo se lo realiza directamente en el tanque de agua ubicado en un lugar

muy distante del edificio principal, siendo un inconveniente en la actualidad para quienes desean conocer el consumo de energía tanto de agua como electricidad, ya que nos encontramos en la época de la energía verde y la eficiencia energética que tiene como objetivo tomar conciencia de uso de los recursos energéticos que consumimos.

La importancia del diseño e implementación de un sistema de monitoreo energético contribuirá para llevar el registro del consumo de la energía eléctrica en (Kwh), el consumo de agua en (Galones), éstos datos podrán ser visualizados y monitoreados por cualquier persona que tenga acceso a internet mediante la página web de la ESPE, visualizando el consumo energético de éstas variables mediante un HMI (Interfaz Hombre-Máquina), muy amigable y didáctico, para que todos puedan visualizar el consumo realizado en el campus.

La implementación de éste proyecto permitirá que las autoridades puedan realizar a futuro, una Gestión de Energía y tomar decisiones como campañas de prevención y concientización junto con la comunidad politécnica, para así poder racionalizar el consumo energético y el uso eficiente de la energía, teniendo como fin la creación de una cultura sobre el uso adecuado de la energía que consume actualmente la ESPE-EL, también se podrá crear una base de datos en la cual se podrá almacenar la información del consumo energético, que sirva como herramienta para realizar otros proyectos de tesis en el futuro.

1.1.6. Alcances y metas

- Analizar la situación actual de los sistemas de monitoreo energéticos implementados en países desarrollados energéticamente.
- Determinar los parámetros de diseño para los medidores de energía, el sistema de adquisición de datos, los protocolos de comunicación y software para el monitoreo de las variables energéticas mediante la Web.

- Diseñar una base de datos históricos de consumo de energía, tanto en electricidad como en agua, realizados en el campus Rodríguez Lara de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Extensión Latacunga.
- Diseñar un Sistema de Monitoreo de Energía de datos de consumo mediante servicios Web.
- Realizar la instalación de los equipos de medida y del sistema de adquisición de datos.
- Comprobar el correcto funcionamiento de todos los equipos de medida y del sistema de monitoreo energético.
- Monitorear el consumo de energía realizado en el campus Rodríguez Lara de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - extensión Latacunga, mediante una plataforma web.

1.2. Introducción

Al mirar a nuestro alrededor se observa que las plantas crecen, los animales se trasladan y que las máquinas y herramientas realizan las más variadas tareas. Todas estas actividades tienen en común que precisan del concurso de la energía, la energía es una propiedad asociada a los objetos y sustancias y se manifiesta en las transformaciones que ocurren en la naturaleza. [1]

En la figura 1.1 muestra el ciclo que la energía toma desde su origen en el sol hasta que el hombre y demás seres vivos al igual que los diferentes procesos se benefician de ésta energía.



Figura 1.1: Energía

Fuente: J. R. Miñarro, Proyecto Newton, ITE Gobierno de España, 26 Junio 2006.

La energía se manifiesta en los cambios físicos, por ejemplo, al elevar un objeto, transportarlo, deformarlo o calentarlo, la energía está presente también en los cambios químicos, como al quemar un trozo de madera o en la descomposición de agua mediante la corriente eléctrica.

La energía es la fuerza vital de nuestra sociedad, de ella dependen la iluminación, el calentamiento y refrigeración de nuestras casas, el transporte de personas y mercancías, la obtención de alimento y su

preparación, el funcionamiento de las fábricas, etc. La energía se considera como una propiedad que se manifiesta en los cambios, tanto físicos como químicos que se producen en la naturaleza

1.2.1. Clasificación de las fuentes de Energía.

Una fuente de energía no es más que un depósito de ésta, en algunos casos es necesario transformarla para poder extraer la energía y en otros no, en función de la fase de transformación en la que se encuentren las fuentes de energía se clasifican como:

- **Primarias.** Son aquellas que encuentran directamente en la naturaleza y no han sido sometidas a ningún proceso de transformación. Algunas requieren de procesos de transformación previos a su consumo (carbón, petróleo, gas natural, uranio) y otras no (sol, viento, agua embalsada, madera). En función de su disponibilidad en la naturaleza (cantidad limitada o inagotables), se pueden clasificar entre no renovables (petróleo, carbón, gas y uranio) y las renovables (hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa), respectivamente. Las primeras constituyen el 94% del consumo mundial de fuentes de energía primaria.
- **Secundarias.** Se denominan también vectores energéticos, su misión es transportar y/o almacenar la energía, pero no se consumen directamente, la más importante es la energía eléctrica, a la que muchos expertos (organismos nacionales e internacionales) denominan también electricidad primaria. A partir de ella se obtiene energía mecánica y térmica.
- **Finales.** Son las que consumimos cada día en viviendas, industrias y transportes. Las principales son los derivados del petróleo (gasolinas, gasóleos, keroseno, butano, propano,...), el gas natural y la energía

eléctrica. A partir de ellas se extrae la energía en sus tres formas posibles: energía luminosa, mecánica y térmica. Cada una de éstas, a su vez, es susceptible de convertirse en cualquiera de las otras dos. [2]

1.2.2. Energía Eléctrica.

En una de las formas de manifestarse de la energía. Tiene como cualidades la docilidad en su control, la fácil y limpia transformación de energía en trabajo, y el rápido y eficaz transporte, son las cualidades que permiten a la electricidad ser casi la energía perfecta, la figura 1.2 muestra una manifestación de la energía eléctrica mediante una lámpara incandescente.



Figura 1.2: Energía Eléctrica

Fuente: IES Cristóbal de Monroy Dpto. de Tecnología, Energía Eléctrica - Tecnología Industrial.

El gran problema de la electricidad es su dificultad para almacenarla, si en estos momentos se pudiera condensar el fluido eléctrico con la misma facilidad con lo que se almacena cualquier otro fluido energético, por ejemplo lo gasolina, estaríamos ante una de las mayores revoluciones tecnológicos de nuestro tiempo. [3]

1.2.3. Fuentes de energía Eléctrica.

Dentro de los distintos tipos de fuentes de energía, se encuentran las fuentes de energía convencionales y las fuentes de energía alternativas. Las fuentes de energía convencionales las podemos definir como las que se utilizan en la actualidad como fuentes primarias de energía en un 99% a nivel mundial. Son básicamente de tres tipos: fósil (petróleo, carbón y gas natural), hídricas y nucleares.

Las energías alternativas, son fuentes de energía que se proponen para sustituir a las anteriores por múltiples razones: ecológicas, reservas disponibles, facilidad de su explotación, etc. La figura 1.3 muestra la clasificación de las fuentes de energía primaria. [4]

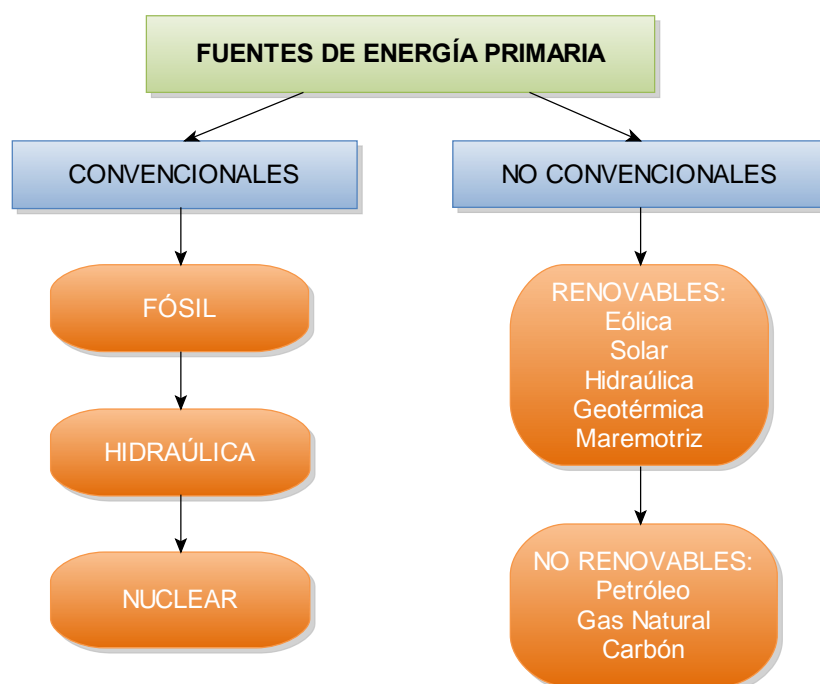


Figura 1.3: Fuentes de Energía Primarias

Fuente: Autoría Propia

1.2.4. Consecuencias del Consumo de Energía

El cambio climático es el aumento de la temperatura media natural del planeta debido al aumento de la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero producido por las actividades humanas, entre ellas los consumos energéticos desmedidos y principalmente los consumos de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas).

En el pasado nuestro planeta ha experimentado cambios climáticos, originados por causas astronómicas y geológicas, en el calentamiento global del planeta influye la composición de la atmósfera, la **radiación solar incidente** ¹ y la **radiación reflejada** ² por la Tierra al calentarse, ésta radiación reflejada es a su vez atrapada y rebota nuevamente hacia la Tierra por las moléculas de determinados gases existentes en la atmósfera (principalmente CO₂ y CH₄).

Cuando se aumenta artificialmente la concentración de dichos gases en la atmósfera, se rompe el equilibrio natural y rebota hacia la Tierra una cantidad mayor de radiación, lo que produce un aumento artificial de la temperatura que lleva aparejados fenómenos tales como la desertización, la disminución de las masas de hielo polares o las inundaciones.

Por tanto, la atmósfera de la Tierra actúa como el vidrio de un invernadero: permite el paso de la luz solar pero no deja escapar el calor atrapado cerca de la superficie, éste fenómeno produce un calentamiento que se conoce como efecto invernadero.

¹ **Radiación Solar Incidente.**- La irradiación total (o global) incidente o sea la suma de la Irradiación Solar Directa y Difusa.

² **Radiación Reflejada.**- Es aquella que desde el Sol rebota en el suelo u otra superficie frente al colector y luego incide sobre él.

El efecto invernadero natural de la tierra hace que se pueda vivir en ella manteniendo la media de la temperatura a 15 °C al poder retener el calor del Sol; sin este efecto la temperatura media de la Tierra sería de -18 °C.

A partir de la era industrial y debido al mayor consumo de combustibles fósiles para la producción de energía y para el transporte, se produce un aumento en la concentración de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, provocando un calentamiento de la superficie terrestre y de la atmósfera, calentamiento que durante el siglo XX aumentó la temperatura 0,6 °C y de 10 a 20 cm el nivel de mar. Un pequeño aumento de temperatura puede causar cambios importantes en los patrones climáticos de la Tierra. [5] En el 2007 los científicos expertos de cambio climático del Grupo Intergubernamental (IPCC) debatieron en su cuarto informe sobre los cambios esperados y efectos previstos como se resume en la figura 1.4:

Factor	Cambios esperados	Algunos efectos negativos previstos
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 1,1-6,4°C para 2100 ▲ Hielos y nieves ▼ invierno, días de helada, masa de frío, nieve, glaciares 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Inundación por el mar de tierras bajas ▲ Contaminación de reservas de agua ▲ Desplazamiento y extinciones de especies animales y vegetales. Daños en ecosistemas. Alteración de los ritmos y ciclos biológicos de las especies ▲ Aridez y desertificación en zonas continentales interiores y costeras
Nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 18-59 cm para 2100 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Riesgo de incendios forestales ▲ Zona distribución de algunos grupos vegetales y animales
Precipitaciones	<ul style="list-style-type: none"> ▲ precipitaciones salvo en algunas zonas tropicales ▲ evaporación ▼ nevadas y hielo marino 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Riesgo epidémico y enfermedades como el paludismo y otras enfermedades infecciosas ▲ Riesgo de pérdida de bienes materiales, infraestructuras, cultivos y zonas habitadas ▲ Presión sobre sistemas públicos de salud y otros seguros
Episodios climáticos extremos	<ul style="list-style-type: none"> ▲ tormentas ▲ inundaciones ▲ sequías (alta frecuencia e intensidad) 	<ul style="list-style-type: none"> ▼ Rendimiento agrícola en zonas tropicales y subtropicales (puede haber un aumento de productividad en algunas áreas) ▼ Cantidad y calidad recursos hídricos

Figura 1.4: Consecuencias del efecto invernadero.

Fuente: Cuarto Informe de Evaluación IPCC 2007

1.3. Distribución del Agua en el Mundo.

La cantidad de agua que hay en el planeta es enorme, ocupa el 80% de la superficie terrestre. Si se extendiera sobre toda la Tierra formaría una capa de unos 3000 metros de profundidad, sin embargo alrededor del 97%

de esta agua está en los mares y océanos y es salada, por lo que no se puede usar para beber, para la agricultura, y para la mayor parte de los usos industriales.

El 3% del agua restante es dulce pero casi toda ella está en los hielos de los polos o en los glaciares o en depósitos subterráneos o en otros lugares de difícil utilización, por todo esto sólo un 0,003% de la masa total de agua del planeta está fácilmente aprovechable para los usos humanos, en la figura 1.5 se muestra un gráfico sobre la distribución del agua en el mundo. [6]

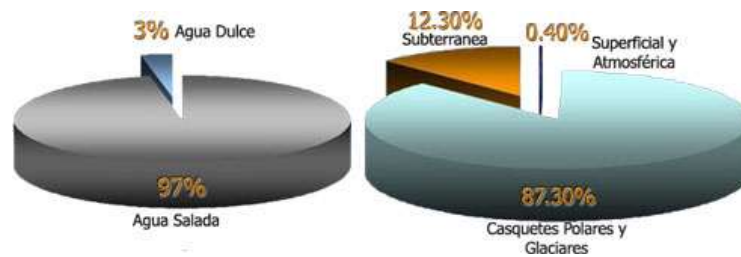


Figura 1.5: Distribución del Agua

Fuente: Origen de la Hidrósfera

1.3.1. Uso Racional del Agua.

El agua cubre un 80%, es decir, más de las $\frac{3}{4}$ partes de la superficie del planeta, aunque parece un recurso muy abundante, menos de un 1% es agua dulce, y sólo el 0,01% se encuentra en la superficie, con lo que el agua que podemos beber es bastante menor en cantidad de lo que se piensa.

La escasez de agua afecta al bienestar y a veces pone en peligro las vidas, en muchos países la escasez de agua empeora el crecimiento económico y disminuye la calidad de vida, en los países pobres la escasez de agua en buenas cantidades ya es una de las causas de muerte. La figura 1.6 muestra un logotipo usado en las diferentes campañas para concientizar al mundo acerca del ahorro de agua.



Figura 1.6: Uso Racional del Agua

Fuente: Ahorro del Agua – elsidanomola.wordpress.com

Un tercio de la población mundial va a experimentar una dura escasez de agua, hoy en día más de mil millones de personas carecen de acceso al agua potable en buena calidad.

El agua dulce se encuentra principalmente en los lagos, ríos y lluvias, y debe alcanzarnos para que ninguna persona, planta o animal tenga sed, para que los animales acuáticos vivan en ella, para regar los campos, usar en las industrias, mantener húmedos los bosques y regar los jardines. Por eso es importante mantenerla limpia y accesible. [6]

1.4. Eficiencia Energética

El gran aumento de demanda de energía actual, así como las previsiones existentes a corto plazo, muestran una serie de grandes problemas a escala mundial:

- Afectación grave al medio ambiente.
- Encarecimiento progresivo de las energías fósiles.
- Repercusiones sobre las economías.

Las razones que llevan a este análisis son básicamente dos: por un lado, la dependencia en un porcentaje muy elevado de los combustibles fósiles, tal y como se describe a continuación:

- 80 % combustibles fósiles.
- 10 % biomasa tradicional.
- 6 % energía nuclear.
- 2 % hidráulica.
- 2 % energías renovables.

Para poder compatibilizar las necesidades de energías actuales y futuras, con el medio ambiente y las economías, existen dos líneas de trabajo muy importantes:

- La implantación de energías renovables.
- Un uso más racional y consciente de la energía, necesita de políticas orientadas a la eficiencia energética.

1.4.1. ¿Qué es la eficiencia Energética?

Una instalación eléctricamente eficiente permite la reducción de sus costes técnicos, económicos y ecológicos de explotación, en la figura 1.7 se muestra el diagrama típico de sistema que busca la eficiencia energética, al igual que reducción de las potencias (activa, reactiva y aparente) y energías (kW·h y kvar·h) demandadas al sistema eléctrico sin que afecte a las actividades normales realizadas en edificios, industrias o cualquier proceso de transformación. [7]

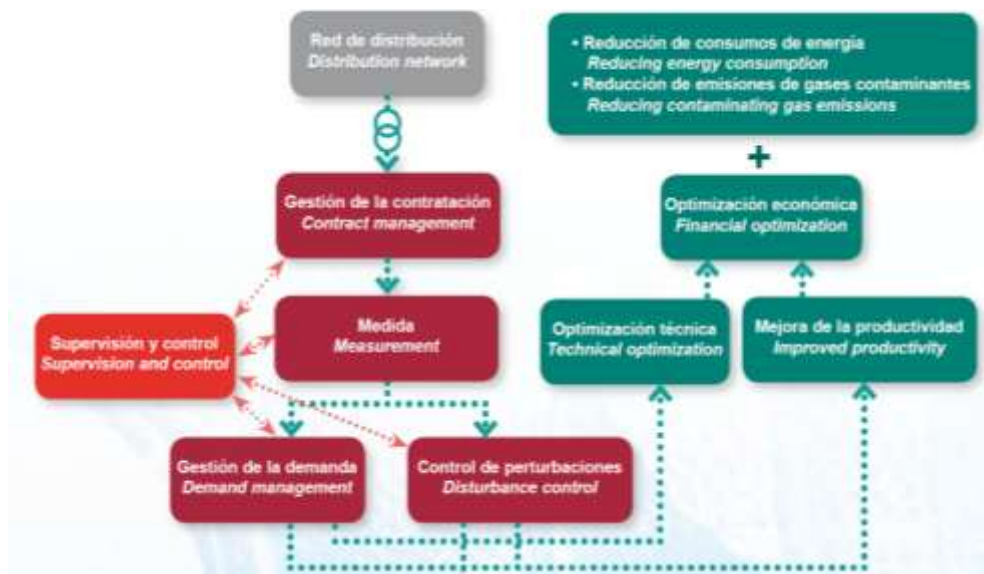


Figura 1.7: Diagrama de bloques de Eficiencia Energética

Fuente: Eficiencia Energética Eléctrica – Circuitur Magazine

1.5. Redes inteligentes o smart grids.

En la actualidad hay muchas actividades en paralelo relacionadas con la estandarización de redes Smart Grid, dado que estas actividades son relevantes para el mismo tema, es inevitable cierto traslape y duplicación de ellas. Existen varios organismos de desarrollo y estandarización, entre ellos:

a) IEC Smart Grid Strategy Group: La International Electrotechnical Commission (IEC) es el punto focal natural para la industria eléctrica, tiene como objetivo proporcionar una fuente de referencia única para la gran cantidad de proyectos de Smart Grid que se están poniendo en marcha en todo el mundo, ha desarrollado un marco para la estandarización que incluye protocolos y estándares de referencia para lograr la interoperabilidad de los sistemas y dispositivos Smart Grid.

b) National Institute of Standards and Technology (NIST): No es un cuerpo de estandarización en sí mismo, sino que ha recibido la designación

del gobierno de los Estados Unidos para gestionar el proyecto de selección de un conjunto de estándares para la red Smart Grid de ese país.

c) EU Commission Task Force for Smart Grids: Su misión es asistir a la Comisión Europea en las políticas y directrices de la reglamentación europea y coordinar los primeros pasos hacia la implementación de Smart Grid en la prestación del tercer paquete energético.

d) IEEE P2030: Es un grupo de trabajo de la IEEE para el desarrollo de una guía para la interoperabilidad de Smart Grid en la operación de las tecnologías energéticas y tecnología de la información con el sistema de energía eléctrica y las cargas y aplicaciones de usuario final.

Muchos proyectos de demostración están actualmente en marcha y algunos resultados están disponibles, las iniciativas más representativas en el campo de Smart Grid están presentes en Estados Unidos, Europa, Japón y China. [8]

1.5.1. Iniciativas en EE.UU.

El concepto Smart Grid o red inteligente, aunque no se encuentra definido completamente, ha comenzado a ganar notoriedad a partir del Acta de Independencia de Energía y la Ley de Seguridad de EE.UU.

El NIST ha diseñado un plan de tres fases para identificar rápidamente un conjunto inicial de estándares en tanto se logra un proceso más robusto de desarrollo continuo e implementación de estándares, las necesidades y oportunidades resultantes y los avances tecnológicos. El despliegue de diversos elementos de la red inteligente, incluidos los sensores inteligentes en las líneas de distribución, los medidores inteligentes en los hogares y las fuentes de energía renovables distribuidas, ya está en marcha y se acelera como resultado de ayudas de inversión y otros incentivos del Departamento

de Energía, tales como garantías en préstamos para proyectos de generación de energía renovable.

Aunque la tecnología Smart Grid aún está en desarrollo, puede necesitar cientos de requerimientos, estándares y especificaciones. Algunos con más urgencia que otros.

1.5.2. Iniciativas en la Unión Europea

Los literales descritos anteriormente mencionan las diferentes organizaciones europeas, que se encuentran actualmente trabajando en la implementación y desarrollo de las smart grids o redes inteligentes.

La investigación y desarrollo de nuevas tecnologías están enfocadas en las comunicaciones del medidor inteligente para el uso de las aplicaciones de electricidad, gas, calefacción y agua.

1.5.3. Iniciativas en Japón

Japón tiene como objetivo reducir de las emisiones de CO₂ en un 25% en comparación con los niveles alcanzados en 1990. La administración japonesa financiará la red de distribución de próxima generación pero con un enfoque más específico: permitir la introducción de energías renovables y crear una nueva infraestructura para los vehículos eléctricos y los nuevos servicios, a través de la utilización de contadores inteligentes y de la red TIC, ya que la actual red eléctrica existente en Japón se considera confiable.

1.5.4. Iniciativas en China

El mercado de China es un mercado muy importante para Smart Grid, los requerimientos que hay son para una red más fuerte y más inteligente,

con grandes inversiones centradas en el aumento de la capacidad, la confiabilidad, la eficiencia y la integración de las energías renovables.

El gobierno chino aprobó un plan de estímulos de \$586 billones de dólares para inversión a gran escala en materia de vivienda de bajos ingresos, agua, infraestructura rural y electricidad. Un efecto secundario de este plan de estímulos es el aumento de la inversión en energía renovable y la eficiencia energética en China. [8]

1.5.5. Concepto de Red Inteligente

Una red inteligente es una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella generadores, consumidores y aquellos que realizan ambas acciones con el fin de distribuir de forma eficiente y segura el suministro eléctrico, desde el punto de vista sostenible y económico.

En la figura 1.8 se muestra el modelo energético de una red inteligente o smart grid que a futuro en redes eléctricas pequeñas serán implementadas.



Figura 1.8: Modelo Energético Futuro.

Fuente: Smart Grids: European Technology Platform

Una red inteligente emplea productos y servicios innovadores junto con monitorización inteligente, técnicas de control, comunicaciones y tecnologías de autoajuste con el fin de:

- Fomenta la participación de los usuarios de forma activa en la red.
- Permitir la coexistencia en la red de todo tipo de generadores, independientemente de su tamaño o tecnología.
- Suministrar a los usuarios una mayor cantidad de información y opciones a la hora de seleccionar el suministro eléctrico.
- Reducir el impacto ambiental por medio de mejoras en la eficiencia de la generación y el transporte energético.
- Mejorar el nivel de la energía eléctrica generada, permitiendo al usuario disponer de energía de mayor calidad en su suministro energético.
- Mejorar y ampliar los servicios energéticos de forma eficiente.
- Promover la integración de los mercados hacia el mercado Europeo, y facilitar el transporte de energía a largas distancias.

En resumen, una Smart Grid se basa en el uso de sensores, comunicaciones, capacidad de computación y control, de forma que se mejora en todos los aspectos las funcionalidades del suministro eléctrico. Un sistema se convierte en inteligente adquiriendo datos, comunicando, procesando información y ejerciendo control mediante una realimentación que le permite ajustarse a las variaciones que puedan surgir en un funcionamiento real.

Gracias a todas estas funcionalidades aplicadas a la red, es posible conseguir las características descritas anteriormente. **[9]**

En la tabla 1.1 se muestra las características principales que ofrecen las nuevas redes inteligentes o smart grids.

Tabla 1.1.- Características de las Smart Grids.

Características	Red Eléctrica Actual	Smart Grid
Automatización.	Existencia muy limitada de elementos de monitorización, reservándose a la red de transporte.	Integración masiva de sensores, actuadores, tecnologías de medición y esquemas de automatización en todos los niveles de la red.
Inteligencia y control.	La red actual de distribución carece de inteligencia, implementando un control manual	Se enfatiza la creación de un sistema de información e inteligencia distribuidos en el sistema.
Autoajuste.	Se basa en la protección de dispositivos ante fallos del sistema.	Automáticamente detecta y responde a transmisiones actuales y problemas en la distribución. Su enfoque se basa en la prevención.
Participación del consumidor y generación distribuida	Los consumidores están desinformados y no participan en la red. No se genera energía localmente, lo que implica un flujo energético unidireccional.	Incorporación masiva de generación distribuida, la que permite coordinarse a través de la red inteligente. En esta generación participa el usuario con la entrega del exceso energético generado localmente.
Gestión de la demanda	No existe ningún tipo de gestión en la utilización de dispositivos eléctricos, en función de la franja horaria del día, o del estado de la red eléctrica.	Incorporación por parte de los usuarios de electrodomésticos y equipos eléctricos inteligentes, que permiten ajustarse a esquemas de eficiencia energética.

Fuente: Smart Grids y la Evolución de la Red Eléctrica – Fedit

1.5.6. Arquitectura de comunicaciones de Smart Grid.

En esta sección se propone un marco para la arquitectura de comunicaciones de Smart Grid con sus segmentos clave y elementos constitutivos, es un refinamiento del modelo de cuatro niveles como se muestra en la Figura 1.9.



Figura 1.9: Modelo de cuatro niveles para la implantación de Smart Grid.

Fuente: Sonama Innovation, 2009b, p 4

Su arquitectura se define en el nivel inferior, la Figura 1.14 muestra los componentes básicos de un sistema de comunicaciones de extremo a extremo e incluye la terminología utilizada para definir los múltiples segmentos de red y los puntos de demarcación (límites), que tienen un rol clave para una adecuada interoperabilidad, la definición de acuerdos de nivel de servicio y el cumplimiento de métricas de rendimiento de las mismas interfaces.

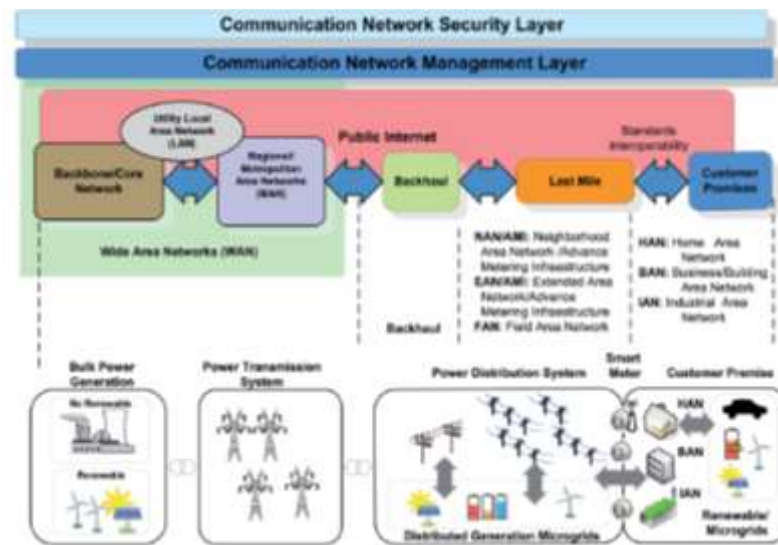


Figura 1.10: Infraestructura de comunicaciones para Smart Grid.

Fuente: Sonama Innovation, 2009b, p 7

Esta segmentación y la demarcación ofrecen un enfoque modular y flexible que permite definir los segmentos de **interoperabilidad**³, las interfaces y los elementos para la gestión y operación, con base en las mejores prácticas de la industria de telecomunicaciones y energía. En el caso específico de la arquitectura de comunicaciones que muestra la Figura 1.9, Smart Grid es un sistema que combina una gran variedad de tecnologías, en que dichos subsistemas que requieren interfaces bien definidas y armonizadas con los estándares existentes.

Se propone una arquitectura que utiliza IP como protocolo unificador de múltiples protocolos, intradominios e interdominios, en la figura 1.10, se presenta una segmentación en diferentes tipos de redes, a su vez contrastada con los dominios del sistema de potencia (generación, transmisión y distribución).

³ **Interoperabilidad.**- habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información compartida entre ellos.

La Figura 1.11, muestra los diferentes estándares y las tecnologías provistas para cada tipo de red de comunicación identificada en el entorno de Smart Grid.

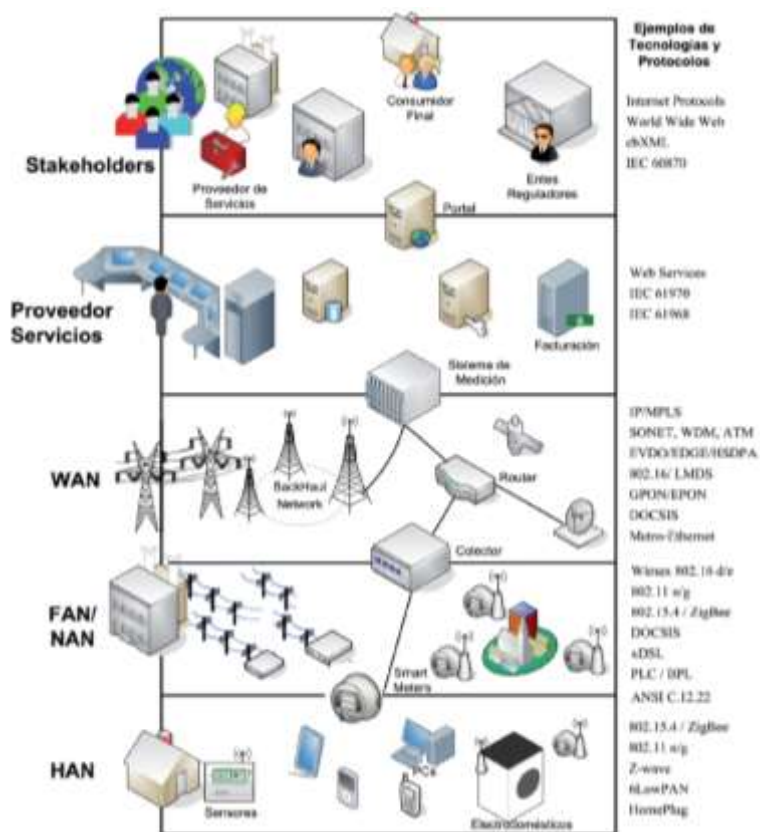


Figura 1.11: Mapeo de estándares y tecnologías a varios segmentos de Smart Grid.

Fuente: Smart Grid High Level Overview - Gunther et al., 2009, p.10

Los **stakeholder**⁴ y más propiamente las compañías del sector energético probablemente optarán por instalar varios de esos tipos, para de esta manera tener la capacidad de enfrentar diferentes dificultades geográficas, distintas densidades de población y diferentes requerimientos de ancho de banda y tiempos de respuesta, en algunos países proponen una arquitectura de comunicaciones para Smart Grid y analizan cada

⁴ **Stakeholder.**- Quienes pueden afectar o son afectados por las actividades de una empresa.

estándar disponible junto con los criterios para su selección y ubicación en el **modelo OSI**⁵. [8][9]

Uno de los estándares de comunicación más utilizados en la actualidad es el estándar IEC 61850 que se lo aplica en una subestación eléctrica, el cual puede tener dos aplicaciones principales: Station Bus y Process Bus.

El "Station Bus" es una aplicación donde los relés y RTUs se conectan directamente a una LAN-Ethernet, mientras que el "Process Bus" se refiere a dispositivos como TC's y TP's, que proporcionan los valores de corriente y voltaje directamente sobre la LAN-Ethernet, en la figura 1.12 se muestra la aplicación del estándar IEC 61850 en subestaciones eléctricas.

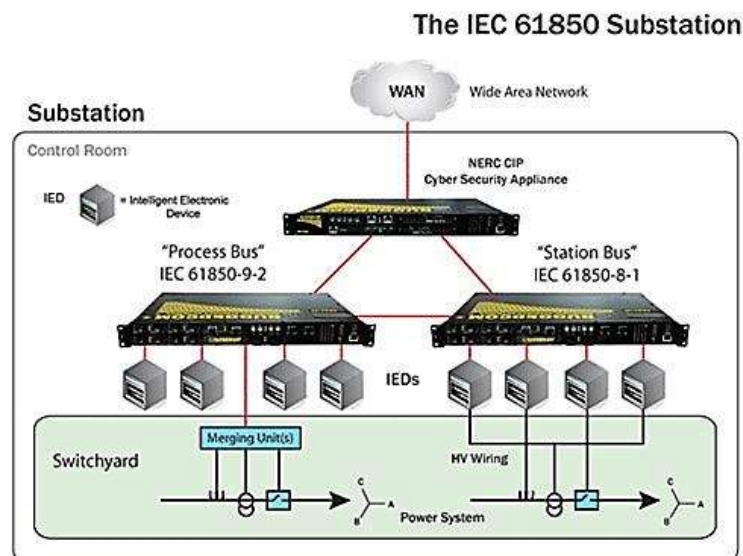


Figura 1.12: Estandar IEC 61850 en Subestaciones.

Fuente: Subestación LAN Evolución, Ruggedcom Inc 2011

Para obtener un alto grado de confiabilidad en esta comunicación, es necesario utilizar dispositivos Ethernet de grado industrial que cumplan las exigencias del estándar IEC 61850. Estos equipos deben garantizar la no

⁵ **Modelo OSI.**- Normativa formada por siete capas que define las diferentes fases por las que deben pasar los datos para viajar de un dispositivo a otro sobre una red de comunicaciones.

pérdida de información bajo difíciles condiciones EMI (Electromagnetic Interference), ya que la información de la LAN será usada para medir y controlar la operación de la subestación.

1.6. Medidores Inteligentes de Energía.

1.6.1. Definición.

El Smart Meter (Contador Inteligente) básicamente es un AMI (Infraestructura de Medición Avanzada), que incluye como mínimo los siguientes suplementos, control de energía mediante ICP programable que establece el límite de consumo, un puerto HAN (Home Area Network) y servicios de tarificación bajo demanda.

La estructura general del contador mantiene los tres elementos principales como son el sistema de medida, la memoria y el dispositivo de información principal, que hasta ahora solo era el sistema de comunicaciones. [9]

Para ampliar sus capacidades operativas se le añaden los siguientes elementos complementarios:

- Sistemas de alimentación.
- Procesador de cálculo.
- Procesador de comunicaciones.
- Dispositivo de accionamiento o control.

1.6.2. Medidores Inteligentes de Energía Eléctrica.

El equipo para la medida de la energía eléctrica consumida es un contador eléctrico o meter que consta de tres elementos principales, como son el sistema de medida, el elemento de memoria y el dispositivo de

información, los equipos de medida de energía eléctrica pueden clasificarse según sus características:

- Tecnológicas, pudiendo ser contadores electromecánicos o electrónicos.
- Funcionales como monofásicos o trifásicos.
- Energéticas como contadores de activa y/o contadores de reactiva.
- Operativas como dispositivo de tipo registrador o programables que permiten la telegestión.

Los equipos de tipo registrador pueden ser de las dos tecnologías: Electromecánicos que permiten medir solamente un tipo de energía, kWh acumulados o kVAh acumulados, no poseen discriminación tarifaria siendo los contadores estándar electromecánicos de inducción o electrónicos, en la figura 1.13 se puede apreciar un medidor inteligente de energía eléctrica con registrador electrónico.



Figura 1.13: Medidor Inteligente de energía eléctrica

Fuente: Ecofield Soporte Legal

En el caso de que el cliente disponga de tarifa nocturna, el contador está equipado con un reloj conmutador y dos registros, de manera que la energía consumida se acumula en uno u otro registro, en función de la situación del conmutador.

Con esta primera evolución, gracias a reemplazar los contadores electromecánicos por contadores electrónicos de estado sólido, es posible disponer de la información energética de forma digital. Con este paso dado, es posible añadir capacidad de comunicación al dispositivo, permitiendo al interesado usar la tecnología **AMR**⁶ para acceder de forma remota a los datos a través de la capa de comunicación.

Las compañías eléctricas han desarrollado diferentes arquitecturas para acceder a la lectura de los contadores. Un ejemplo es el sistema de lectura mediante conducción, gracias al cual la compañía envía un vehículo que circula por un vecindario obteniendo de forma muy rápida las medidas de todas las viviendas gracias a un sistema de comunicación inalámbrico como se muestra en la figura 1.14. **[9]**

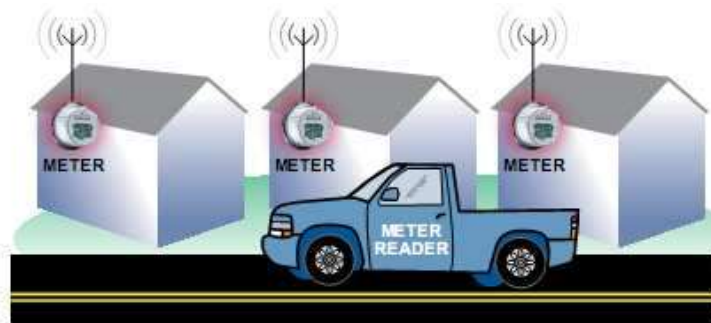


Figura 1.14: Ejemplo de sistema de lectura.

Fuente: Analog Devices

1.7. Protocolos de comunicación industrial

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. Estos han tenido un proceso de evolución gradual a medida que la tecnología electrónica ha avanzado y muy en especial en lo que se refiere a los microprocesadores. **[10]**

⁶ **AMR.**- Lectura de medición remota.

La inclusión de los microprocesadores en la industria ha posibilitado su integración a redes de comunicación con importantes ventajas, entre las cuales figuran:

- Mayor precisión derivada de la integración de tecnología digital en las mediciones.
- Mayor y mejor disponibilidad de información de los dispositivos de campo.
- Diagnóstico remoto de componentes.

La integración suele hacerse dividiendo las tareas entre grupos de procesadores jerárquicamente anidados, esto da lugar a una estructura de redes Industriales, las cuales es posible agrupar en tres categorías:

- Buses de campo
- Redes LAN
- Redes LAN-WAN

1.7.1. Niveles Jerárquicos en Sistemas de Automatización Industrial.

Los sistemas de automatización industriales pueden ser muy complejos, y normalmente están estructurados dentro de varios niveles jerárquicos. Cada nivel jerárquico tiene un apropiado nivel de comunicación que coloca requisitos diferentes en la comunicación de red.

En la figura 1.16 se muestra un ejemplo de la jerarquía de un sistema de automatización industrial. **[10]**

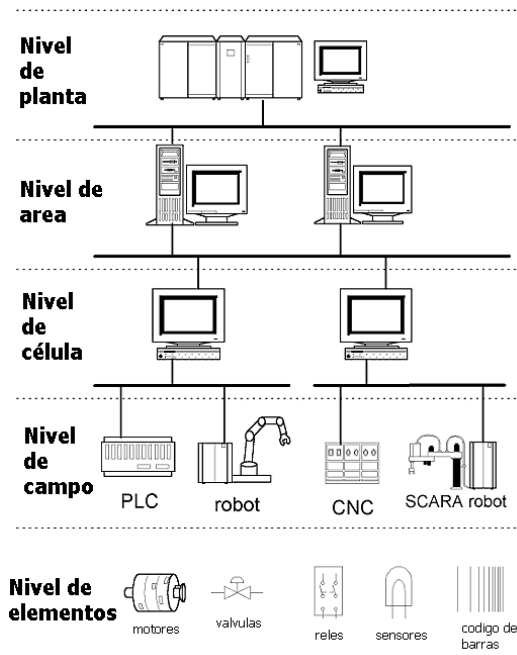


Figura 1.15: Jerarquía de un Sistema de Automatización Industrial.

Fuente: Protocolos de Comunicación Industrial

1.7.2. Nivel de campo

El nivel más bajo de la jerarquía de automatización es el nivel de campo que incluye los dispositivos de campo como actuadores y sensores. Los dispositivos de campo elementales a veces son clasificados como elementos de nivel.

La tarea de los dispositivos en el nivel de campo es transferir datos entre el producto fabricado y el proceso técnico. Los datos pueden ser binarios y analógicos. Los valores moderados pueden estar disponibles para un periodo corto de tiempo o por un periodo largo de tiempo.

Para el nivel de campo la comunicación, paralelo, cables de varios alambres e interfaces de corriente como la de 20mA han sido ampliamente usados.

Las normas de comunicación serie como **RS232, RS422 y RS485**⁷ son normalmente usadas como protocolos junto con las normas de comunicación paralela IEEE488. Estos métodos de comunicación de punto a punto han evolucionado a la red de comunicación de bus para cubrir con el costo de cableado y lograr una comunicación de alta calidad.

1.7.3. Nivel de célula

En el nivel de célula, el flujo de información consiste principalmente en la carga de programas, parámetros y datos, en procesos con pequeñas máquinas los tiempos inactivos y reajustes, esto se hace durante el proceso de la producción, en pequeños controles puede ser necesario cargar subprogramas durante un ciclo industrial, esto determina los requisitos de regulación.

Para el funcionamiento del nivel de célula, la sincronización de la máquina y el manejo de evento pueden requerir tiempos cortos de respuestas en el bus. Estos requisitos en tiempo real no son compatibles con excesivos tiempos de transmisión de aplicación de programas, haciendo necesaria una adaptación de segmentación del mensaje.

Para lograr los requisitos de comunicación en este nivel, se han usado redes de área local como la red de comunicación, después de la introducción del concepto de **CIM**⁸ y el concepto de **DCS**⁹, muchas compañías desarrollaron sus propias redes para el nivel de célula de un sistema de automatización. Ethernet junto con TCP/IP [(protocolo de control de la transmisión / protocolo de Internet (transmission control protocol / internet

⁷ **Comunicación serial RS232, RS422 y RS485.**- Es una interfaz que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un Equipo terminal de datos y un DCE Equipo de Comunicación de datos.

⁸ **CIM.**- Manufactura Integrada por Computadora.

⁹ **DCS.**- Sistemas de Control Distribuidos.

protocol)], fue aceptado como un factor normal para este nivel, aunque no se puede proporcionar una verdadera comunicación en tiempo real.

1.7.4. Nivel de área

El nivel del área consiste en células combinadas dentro de grupos, las células están diseñadas con aplicaciones orientadas al funcionamiento, por los controladores de nivel de área u operadores de control, él controlando y las funciones intermedias están hechas como objetivos de producción, el encendido de la máquina y apagado, y actividades de emergencia.

1.7.5. Nivel de planta

El nivel de planta, es el nivel de cima de una planta o un sistema de automatización industrial. El nivel de planta de control reúne información de administración para los niveles de área, y maneja todo el sistema de automatización.

1.7.6. Medios de transmisión.

Un factor principal al elegir una red de comunicación industrial es el tipo de sistema de cableado físico o los medios de transmisión, los más comunes medios de transmisión para las redes de comunicación industrial son alambres de cobre, en la forma de coaxial o par trenzado, fibra óptica y las tecnologías inalámbricas. [10]

1.8. Protocolo de comunicación industrial Modbus

El protocolo MODBUS fue desarrollado por MODICON en el año 1979, para interconectar inicialmente sus controladores programables, pero con el pasar del tiempo ha tenido una gran acogida y se ha convertido en el lenguaje común utilizado por muchos controladores y otros dispositivos de

monitoreo y control desarrollados por otros fabricantes. En la figura 1.17 se muestra el logotipo del protocolo industrial Modbus.



Figura 1.16: Logotipo del Protocolo MODBUS

Fuente: ModBusApps

Este protocolo define una estructura de mensaje que los dispositivos interconectados reconocerán y usarán, con independencia del tipo de redes sobre la cual se comuniquen, describe el proceso que usa un dispositivo, para pedir acceso a otro dispositivo, cómo responderá a las peticiones desde otros dispositivos y cómo se detectarán y notificarán los errores, establece un formato común para la disposición y contenido de los campos de mensaje.

Durante la comunicación sobre una red Modbus, el protocolo determina cómo cada dispositivo reconocerá su dirección, reconocerá un mensaje enviado a él, determinará el tipo de acción a tomar y extraerá cualquier dato u otra información contenida en el mensaje, si se requiere una respuesta, el dispositivo construirá el mensaje respuesta y lo enviará utilizando el protocolo Modbus.

Los dispositivos interconectados que utilizan el protocolo Modbus para comunicarse, normalmente tienen como medio físico una interfaz RS485, para lograr una conexión multipunto o multinodo, aunque en algunas ocasiones, se pueden encontrar dispositivos estableciendo comunicación bajo el protocolo Modbus, usando como medio físico una interfaz RS232.

Los dispositivos se comunican usando una técnica Maestro – Esclavo (Master - Slave), en la cual sólo un dispositivo, el maestro puede iniciar transacciones llamadas peticiones. Los dispositivos esclavos responden suministrando al maestro el dato solicitado, o realizando la acción solicitada en la petición. Entre los dispositivos maestros típicos se incluyen los procesadores centrales, los paneles de programación, PC (Computadores Personales) y PLC (Controladores Lógicos Programables). Algunos de los esclavos típicos son los PLC (Controladores Lógicos Programables), controladores, analizadores y tarjetas de adquisición de datos.

El maestro puede comunicarse con esclavos individualmente o puede generar un mensaje en modo difusión a todos los esclavos. Los esclavos devuelven un mensaje llamado ‘respuesta’ a las peticiones que les son enviadas individualmente. No se devuelven respuestas a peticiones en modo difusión enviadas desde el maestro.

El protocolo Modbus establece el formato para la petición del maestro, colocando en ella la dirección del dispositivo esclavo, un código de función que define la acción solicitada, cualquier dato que haya de enviarse y un campo de comprobación de error. El mensaje de respuesta del esclavo está también definido por el protocolo Modbus. Contiene campos confirmando la acción tomada, cualquier dato que haya de devolverse y un campo de comprobación de error. Si el mensaje recibido por el esclavo es defectuoso o el esclavo es incapaz de realizar la acción solicitada, construirá un mensaje de error y lo enviará como respuesta.

En la figura 1.18 se muestra el ciclo de petición y respuesta utilizada en la comunicación Modbus, entre los dispositivos maestro - esclavo.

Ciclo Petición – Respuesta

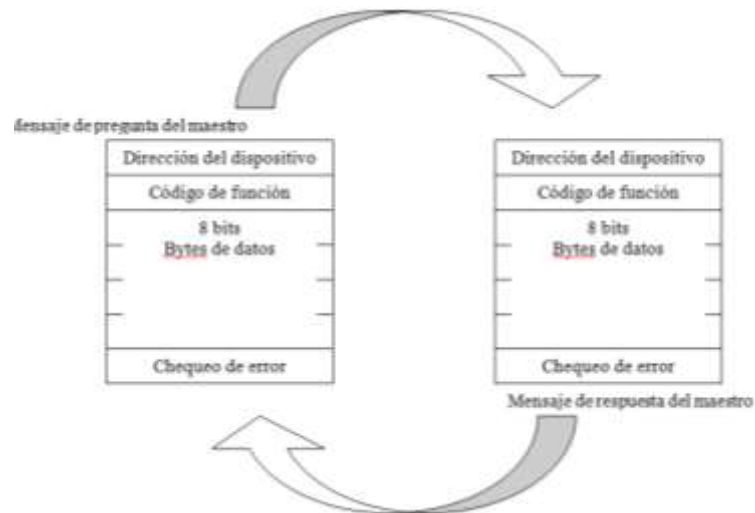


Figura 1.17: Ciclo Petición-Respuesta Maestro-Esclavo

Fuente: Protocolo de Comunicación Modbus.pdf

- **La Petición:** El código de función en la petición indica al dispositivo esclavo, el mensaje que será enviado, el tipo de acción a realizar. Los bytes de datos contienen cualquier información adicional que el esclavo necesitará para llevar a cabo la función. Por ejemplo el código de función 03 pedirá al esclavo que lea registros sostenidos (holding registers) y responda enviando los valores contenidos en estos registros del esclavo. El campo de datos debe contener la información que indique al esclavo en qué registro debe iniciar la lectura y cuántos han de leer. El campo de comprobación de error proporciona un método para que el esclavo valide la integridad del contenido del mensaje recibido.
- **La Respuesta:** Si el esclavo elabora una respuesta normal, el código de función contenido en la respuesta es una réplica del código de función enviado en la petición. Los bytes de datos contienen los datos solicitados por el maestro en la petición, y que han sido recolectados por el esclavo, tales como valores de registros o estados de registros. Si ocurre un error, el código de función contenido en la respuesta es diferente al código de

función enviado en la petición, para indicar que la respuesta es una respuesta de error y los bytes de datos contienen un código que describe el error. El campo de comprobación de error permite al maestro confirmar que los contenidos del mensaje son válidos. [11]

1.8.1. Los dos modos de transmisión serial MODBUS.

Los controladores pueden ser configurados para comunicarse sobre redes standard Modbus utilizando cualquiera de los dos modos de transmisión: ASCII o RTU. Los usuarios seleccionan el modo deseado, junto con los parámetros de comunicación del puerto serie como la velocidad, paridad, etc, durante la configuración de cada controlador.

El modo y los parámetros serie deben ser los mismos para todos los dispositivos conectados a una red Modbus, la selección del modo ASCII o RTU tiene que ver únicamente con redes Modbus standard. Define los bits contenidos en los campos del mensaje transmitido en forma serie en esas redes y determina cómo debe ser empaquetada y decodificada, la información en los campos del mensaje.

1.8.2. Modo ASCII.

Cuando los controladores se configuran para comunicar en una red Modbus según el modo ASCII (American Standard Code for Information Interchange), cada byte 8 bits - en un mensaje se envía como dos caracteres ASCII. La principal ventaja de este modo es que permite intervalos de tiempo de hasta un segundo entre caracteres sin dar lugar a error.

En la tabla 1.2 se puede apreciar el formato para cada byte utilizado en modo ASCII:

Tabla 1.2.- Formato Modo Modbus-ASCII.

Sistema de codificación	Hexadecimal ¹⁰ , caracteres ASCII 0-9, A-F un carácter hexadecimal contenido en cada carácter ASCII del mensaje.
Bits por byte	<ul style="list-style-type: none"> • 1 bit de arranque. • 7 bits de datos, el menos significativo se envía primero. • 1 bit para paridad Par o Impar; ningún bit para No paridad. • 1 bit de paro si se usa paridad; 2 bits si no se usa paridad.
Campo de Chequeo de error	Comprobación Longitudinal Redundante (LRC).

Fuente: Protocolos de Comunicación Industrial Seminario de Titulación (2004).

La tabla 1.3 muestra la trama característica del mensaje Modbus ASCII típica.

Tabla 1.3.- Trama del Mensaje Modbus ASCII

ARRANQUE	DIRECCIÓN	FUNCIÓN	DATOS	COMPROB LRC	FINAL
1 Carácter	2 Caracteres	2 Caracteres	N Caracteres	2 Caracteres	2 Caracteres CRLF

Fuente: Protocolos de Comunicación Industrial Seminario de Titulación (2004).

¹⁰ **Hexadecimal.-** Es un sistema de numeración que emplea 16 símbolos. Su uso actual está muy vinculado a la informática y ciencias de la computación

1.8.3. Modo RTU

Cuando los controladores son configurados para comunicarse en una red Modbus usando el modo RTU (Unidad Terminal Remota), cada byte de 8 bits en un mensaje contiene dos dígitos hexadecimales de 4 bits.

La principal ventaja de este modo es que su mayor densidad de carácter permite mejor rendimiento que el modo ASCII para la misma velocidad, cada mensaje debe ser transmitido en un flujo continuo.

La tabla 1.4 muestra el formato para cada byte utilizado en modo RTU:

Tabla 1.4.- Formato Modo Modbus-RTU.

Sistema de codificación	Binario 8-bits, hexadecimal 0-9, A-F. Dos dígitos hexadecimales contenidos en cada campo de 8 bits del mensaje.
Bits por byte	<ul style="list-style-type: none"> • 1 bit de arranque. • 8 bits de datos, el menos significativo se envía primero. • 1 bit para paridad Par o Impar; ningún bit para No paridad. • 1 bit de paro si se usa paridad; 2 bits si no se usa paridad.
Campo de Chequeo de error	Comprobación Cíclica Redundante (CRC).

Fuente: Protocolos de Comunicación Industrial Seminario de Titulación (2004).

En cualquiera de los modos de transmisión serie (ASCII o RTU), un mensaje Modbus es situado por el dispositivo que transmite, en una trama que tiene un comienzo y un final conocidos. Esto permite a los dispositivos receptores comenzar en el arranque del mensaje, leer la parte de la dirección y determinar qué dispositivo es direccionado (o todos los dispositivos si es una difusión 'dirección = 0') y conocer cuándo se ha completado el mensaje. Mensajes parciales pueden ser detectados y establecer errores como resultado.

La tabla 1.5 muestra una trama de mensaje Modbus RTU típica.

Tabla 1.5.- Trama del Mensaje Modbus RTU

ARRANQUE	DIRECCIÓN	FUNCIÓN	DATOS	COMPROB LRC	FINAL
T1-T2-T3-T4	8 BITS	8 BITS	N x 8 BITS	16 BITS	T1-T2- T3-T4

Fuente: Protocolos de Comunicación Industrial Seminario de Titulación (2004).

1.8.4. Protocolo de comunicación Modbus TCP-IP

Este protocolo se basa en una arquitectura sin estados Cliente-Servidor (denominados maestro y esclavo respectivamente), donde cada dispositivo tiene un número de esclavo que se utiliza a modo de dirección. Modbus permite ver a cada dispositivo conectado como un banco de registros contiguos. Cada registro tiene una dirección de 16 bits dentro del rango 0x0000 a 0xFFFF, y tiene un tamaño dependiendo de cada dispositivo, a la vez almacenará un determinado tipo de información o tendrá una determinada función.

Existe un método para acceder remotamente a la red Modbus vía TCP/IP: el protocolo Modbus/TCP. Éste no es más que una extensión de

Modbus, introducida por Schneider Automation, que encapsula en las tramas Modbus sobre tramas TCP para permitir su envío y recepción a través de Internet o una intranet, de igual forma que Modbus, es abierto y se ha convertido en el protocolo de facto para este tipo de comunicaciones.

La trama en Modbus/TCP de petición o respuesta poseen una cabecera compuesta por 6 Bytes divididas en tres campos, como se aprecia en la figura 1.21.

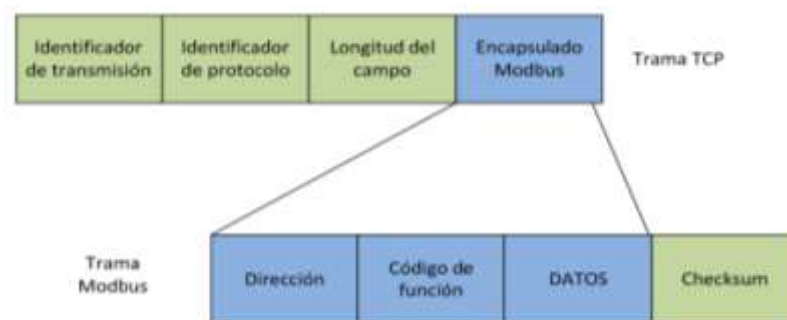


Figura 1.18: Trama Modbus RTU encapsulada sobre Modbus/TCP.

Fuente: Protocolos de Comunicación Industrial Seminario de Titulación (2004).

Posición del Byte y su significado

Byte 0 - Identificador de transacción. Copiado por el servidor.

Byte 1 - Identificador de transacción. Copiado por el servidor.

Byte 2 - Identificador de protocolo = 0.

Byte 3 - Identificador de protocolo = 0.

Byte 4 - Campo de longitud (byte alto) = 0 Ya que los mensajes son menores a 256.

Byte 5 - Campo de longitud (byte bajo). Número de bytes siguientes.

Byte 6 - Identificador de unidad (ID), previamente dirección esclavo.

Byte 7 - Código de función Modbus (CMD).

Byte 8+ - Los datos necesarios.

Las soluciones comerciales que utilizan Modbus/TCP ofrecen dos tipos de arquitectura en función de en qué lado se deseen situar los dispositivos maestros, si en la parte Serie o en la parte TCP. La arquitectura más utilizada es aquella en la que los dispositivos maestros, es decir, los dispositivos que solicitan la información de los esclavos, están en la parte TCP, en la figura 1.25 se muestra un ejemplo de la utilización de la arquitectura cliente servidor o maestro esclavo con protocolo de comunicación Modbus / TCP-IP. [12]



Figura 1.19: Arquitectura Modbus/TCP. Maestros en el lado TCP

Fuente: www.iit.upcomillas.es

1.9. Estandar Zigbee 802.15.4

ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por ZigBee Alliance. No es una tecnología, sino un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante.

ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. En la

figura 1.23 se muestra un logotipo de las diferentes aplicaciones que utilizan la tecnología zigbee.



Figura 1.20: Estándar ZigBee 802.15.4

Fuente: www.zigbee.org

ZigBee, es una comunidad internacional de más de 100 compañías como Motorola, Mitsubishi, Philips, Samsung, Honeywell, Siemens, entre otras; cuyo objetivo es habilitar redes inalámbricas con capacidades de control y monitoreo que sean confiables, de bajo consumo energético y de bajo costo, que funcione vía radio y de modo bidireccional; todo basado en un estándar público global que permita a cualquier fabricante crear productos que sean compatibles entre ellos. [13]

1.9.1. Características del Estándar ZigBee 802.15.4

Algunas de las características de ZigBee son:

- ZigBee opera en las bandas libres ISM (Industrial, Scientific & Medical) de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos).
- Tiene una velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura de 10 a 75 metros.

- A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth su desempeño no se ve afectado, esto debido a su baja tasa de transmisión y, a características propias del estándar IEEE 802.15.4.
- Capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, entonces, mayor número de rutas alternas existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino.
- Cada red ZigBee tiene un identificador de red único, lo que permita que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema.
- Teóricamente pueden existir hasta 16 000 redes diferentes en un mismo canal y cada red puede estar constituida por hasta 65 000 nodos, obviamente estos límites se ven truncados por algunas restricciones físicas (memoria disponible, ancho de banda, etc.).
- Es un protocolo de comunicación multi-salto, es decir, que se puede establecer comunicación entre dos nodos aun cuando estos se encuentren fuera del rango de transmisión, siempre y cuando existan otros nodos intermedios que los interconecten, de esta manera, se incrementa el área de cobertura de la red.
- Su topología de malla (MESH) permite a la red auto recuperarse de problemas en la comunicación aumentando su confiabilidad. **[13]**

1.9.2. Tipos de Dispositivos ZigBee

Se definen tres tipos diferentes de dispositivos ZigBee según su papel en la red:

- Coordinador ZigBee (ZigBee coordinator, ZC), el tipo de dispositivo más completo, puede actuar como director de una red en árbol así como servir de enlace a otras redes, existe exactamente un coordinador por cada red, que es el nodo que la comienza en principio.
- Router ZigBee (ZR), además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario, puede actuar como router interconectando dispositivos separados en la topología de la red.
- Dispositivo final (ZigBee end device, ZED), posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos, de esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías.[13]

En la figura 1.24 se muestra los diferentes tipos de configuración utilizados en el estándar 802.15.4.



Figura 1.21: Dispositivos ZigBee

Fuente: www.zigbee.org

1.9.3. Comparativa entre Tecnologías Inalámbricas

A continuación en la tabla 1.6 se muestra una comparación entre las tecnologías inalámbricas más comunes en la actualidad.

Tabla 1.6.- Comparativa entre las tecnologías inalámbricas

	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee
Bandas de Frecuencias	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz 868/915 MHz
Tasa de Transferencia	11 Mbps	1 Mbps	250 Kbps (2.4 GHz) 40 Kbps (915 MHz) 20 Kbps (868 MHz)
Número de canales	11-14	79	16 (2.4 GHz) 10 (915 MHz) 1 (868 MHz)
Dispositivos	32	8	255 - 65535
Duración de la Batería	1 hora	1 día	Años de Batería
Arquitecturas	Estrella	Estrella	Estrella, árbol, punto a punto y malla
Aplicaciones	Edificios con internet dentro	Computadores y teléfonos	Control de bajo costo y monitoreo
Consumo de Potencia	400 mA Transmitiendo, 20 mA en reposo	40 mA Transmitiendo, 0.2 mA en reposo	30 mA Transmitiendo, 3 mA en reposo
Precio	Costoso	Accesible	Bajo
Complejidad	Complejo	Complejo	Simple

Fuente: Digi International

1.10. Sistema de Adquisición de Datos (SAD).

La adquisición de datos es una necesidad habitual en la mayoría de las actividades industriales y consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras fuentes electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora.

Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecúa la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. [14] [15]

En la figura 1.25, se muestran las etapas que intervienen en un Sistema de Adquisición de datos:



Figura 1.22: Etapas de un SAD.

Fuente: Autoría Propia

1.11. Software de Adquisición de Datos LABVIEW de National Instruments.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico diseñado por National Instruments, para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control, en la figura 1.26 se muestra el logotipo de Labview.



Figura 1.23: Logotipo de LabView

Fuente: Página web National Instruments

Labview permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactivo basado en software. Es un sistema de programación de propósito general con librerías y funciones para diversas tareas. En particular incluye librerías para:

- Adquisición de Datos.
- GPIB
- Control serial de Instrumentos.
- Análisis de Datos.
- Presentación de Datos.
- Almacenamiento de Datos

Posee un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o Basic. Sin embargo, se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabView, emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

Una de sus principales aplicaciones es en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control, un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, Laboratorios para clases en

universidades, procesos de control industrial. Labview es muy utilizado en procesamiento digital de señales, procesamiento en tiempo real, para aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras. [16]

a) Panel frontal del software LabView

Es la pantalla donde se hace una representación gráfica de los elementos físicos reales, fundamentalmente combinando elementos indicadores y controles, los controles simulan los dispositivos de entrada de un instrumento y proporcionan los datos al diagrama de bloques del VI, en la figura 1.27 se muestra un ejemplo del panel frontal que despliega Labview.



Figura 1.24: Panel Frontal de Labview

Fuente: Página web National Instruments

Los indicadores simulan los dispositivos de salida de un instrumento y muestran los datos adquiridos o generados por el diagrama de bloques.

Las funciones de Indicador y Control pueden ser intercambiados a través de comandos del menú, cada elemento elegido debe tener un nombre (etiqueta) para ser identificado en el diagrama de bloques. [16]

b) Diagrama de Bloques o de Funciones.

Esta ventana contiene el diagrama de bloques del algoritmo que se está programando, es decir es el **código fuente**¹¹ gráfico de Labview. El diagrama de bloques es una solución ilustrada a un problema de programación, como se muestra en la figura 1.28.

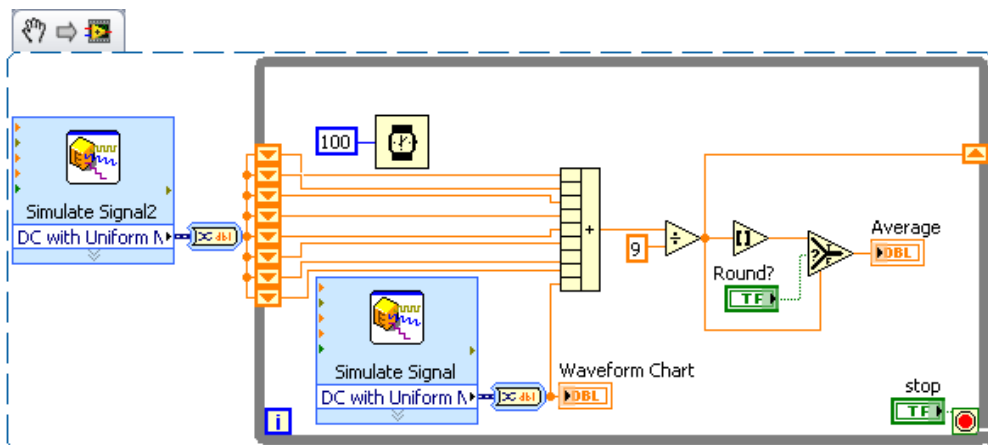


Figura 1.25: Diagrama de bloques de LabView

El diagrama de bloques se construye uniendo o cableando objetos que reciben o envían datos, realizan una función específica y controlan el flujo de la ejecución del programa. [16]

¹¹ **Código Fuente.**- es un conjunto de líneas de texto que son las instrucciones que debe seguir la computadora para ejecutar dicho programa. Por tanto, en el código fuente de un programa que está escrito por completo su funcionamiento

c) Programación

La programación se lleva a cabo utilizando código G (gráfico), consta de un panel frontal y un panel de código como se mencionó antes.

- En el panel frontal es donde se diseña la interfaz de usuario y se ubican los controles e indicadores.
- En el diagrama de bloques se encuentran las funciones. Cada control que se utiliza en la interfaz de usuario tiene una representación en el panel de funciones.

Los indicadores necesarios para entregar la información procesada al usuario tienen un icono que los identifica en el panel de funciones

Los controles pueden ser booleanos, numéricos, **strings**¹², se forman mediante un arreglo matricial o una combinación de éstos; y los indicadores se pueden visualizar como tablas, gráficos en 2D o 3D, browser, entre otros.

Las funciones pueden ser programas prediseñados y que pueden ser reutilizados en cualquier aplicación, estos bloques funcionales constan de entradas y salidas, igual que en un lenguaje de programación estándar las funciones procesan las entradas y entregan una o varias salidas. Estos pueden también estar conformados de otros subprogramas y así sucesivamente. [16]

1.12. Servidores Web.

El éxito espectacular de la Web se basa en dos puntales fundamentales: el protocolo HTTP y el lenguaje HTML.

¹² **Strings.**- Es una cadena de caracteres o una sucesión de caracteres (letras, números u otros signos o símbolos), que pertenecen a un cierto lenguaje formal o alfabeto análogo de una fase o secuencia.

Uno permite una implementación simple y sencilla de un sistema de comunicaciones que permite enviar cualquier tipo de ficheros de una forma fácil, que simplifica el funcionamiento del servidor, permitiendo que servidores poco potentes atiendan miles de peticiones y simplificando los costes de despliegue. El otro proporciona un mecanismo de composición de páginas enlazadas simple y fácil, altamente eficiente y de uso muy simple.[17]

1.12.1 Protocolo HTTP.

El protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol) es el protocolo base de la WWW, es un protocolo simple, orientado a conexión y sin estado. Es un protocolo Orientado a conexión ya que emplea para su funcionamiento un protocolo de comunicaciones (TCP, Transport Control Protocol) de modo conectado, un Protocolo que establece un canal de comunicaciones de extremo a extremo entre el cliente y el servidor por el que pasa el flujo de bytes que constituyen los datos a transferir, en contraposición a los protocolos de datagrama o no orientados a conexión que dividen los datos en pequeños paquetes (datagramas) y los envían, pudiendo llegar por vías diferentes del servidor al cliente.

1.12.2 El Lenguaje HTML

El otro puntal del éxito del WWW es el lenguaje HTML (HyperText Markup Language). Este es un lenguaje de marcas, se utiliza insertando marcas en el interior del texto que permite representar de forma rica el contenido, así como referenciar otros recursos como imágenes textos, fotografías, audio, sonido, animaciones, video, enlaces a otros documentos la característica más destacada del WWW es mostrar formularios para luego procesarlos.

El lenguaje HTML actualmente se encuentra en la versión 5.0, las novedades más destacables de HTML 5 serán la inclusión de API's para

realizar dibujos en dos dimensiones, controlar la reproducción de audio y vídeo, editar documentos de forma interactiva en el navegador, y mantener datos de forma persistente en la parte cliente de la comunicación para acceder más tarde a ellos. [17]

1.12.3 Aplicaciones WEB

Una aplicación Web, básicamente, es un programa, en sí muy parecido a cualquier software que se dispone en una PC, pero con la justificación de que en la computadora corre dicho programa, en cambio en una aplicación web se dispone de un servidor al que nos conectamos a través de nuestro navegador, convirtiéndose éste en la pantalla o ventana en la que visualizamos las cosas que ocurren al ejecutar las acciones de la aplicación.

El servidor devuelve la información en formato HTML y así cualquier navegador es capaz de interpretar este código para poder visualizar de forma correcta la información que envía la aplicación.

Son numerosas las ventajas de las aplicaciones Web en cualquiera de los campos para los que se utilicen, ya que permiten facilitar mucho la estructuración y sobre todo el mantenimiento de la información que se muestra en el sitio Web.

Las aplicaciones Web se pueden utilizar con múltiples fines, desde un sencillo uso para facilitar la creación de un sitio Web más o menos extenso, hasta para centralizar toda la información (contabilidad, pedidos, logística, etc.) de una empresa multinacional, con sedes en diferentes países del mundo

1.12.4 Tipos de Aplicaciones WEB.

- Desarrollo de sitios Web básicos.
- Web en flash.
- Aplicaciones de contenido.
- Aplicaciones e-learning.
- Comercio electrónico.
- Aplicaciones de gestión.

1.12.5 Base de datos MySQL.

MySQL es uno de los Sistemas Gestores de bases de Datos (SQL) más populares desarrolladas bajo la filosofía de código abierto. Inicialmente, MySQL carecía de elementos considerados esenciales en las bases de datos relacionales, tales como integridad referencial y transacciones. A pesar de ello, atrajo a los desarrolladores de páginas web con contenido dinámico, justamente por su simplicidad; aquellos elementos faltantes fueron llenados por la vía de las aplicaciones que la utilizan.

Poco a poco los elementos faltantes en MySQL están siendo incorporados tanto por desarrollos internos, como por desarrolladores de software libre. Entre las características disponibles en las últimas versiones se puede destacar:

- Amplio subconjunto del lenguaje SQL. Algunas extensiones son incluidas igualmente.
- Disponibilidad en gran cantidad de plataformas y sistemas.
- Diferentes opciones de almacenamiento según si se desea velocidad en las operaciones o el mayor número de operaciones disponibles.
- Transacciones y claves foráneas.
- Conectividad segura.

- Replicación.
- Búsqueda de **indexación**¹³ de campos de texto. [18]

1.12.6 Servidor Web.

El servidor Web es un programa que corre sobre el servidor que escucha las peticiones HTTP que le llegan y las satisface, dependiendo del tipo de la petición, el servidor Web buscará una página Web o bien ejecutará un programa en el servidor.

En la figura 1.31 se muestra la arquitectura típica de un servidor web interactuando con diferentes clientes mediante internet.

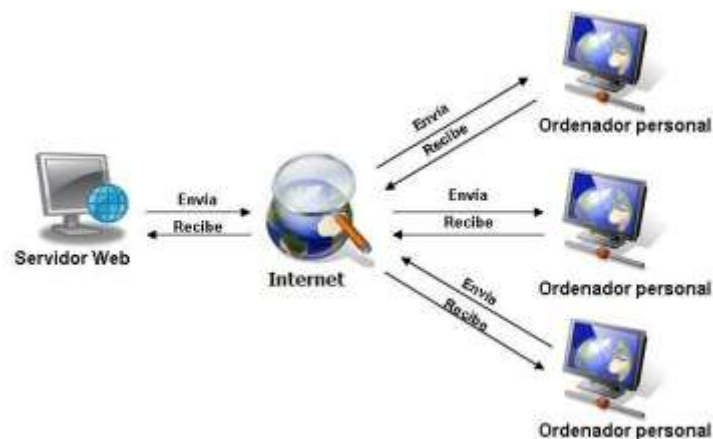


Figura 1.26: Arquitectura de un Servidor Web

De cualquier modo, siempre devolverá algún tipo de resultado HTML al cliente o navegador que realizó la petición. El servidor Web es fundamental en el desarrollo de las aplicaciones del lado del servidor, que se vaya a construir, ya que se ejecutarán en él.

¹³ **Indexación.**- Se refiere a la acción de registrar ordenadamente información para elaborar su índice.

Es cualquier recurso de cómputo dedicado a responder a los requerimientos del cliente. Los servidores pueden estar conectados a los clientes a través de redes LANs o WANs, para proveer de múltiples servicios a los clientes y ciudadanos tales como impresión, acceso a bases de datos, fax, procesamiento de imágenes, etc. [18]

1.12.7 Modelo Cliente-Servidor

Desde un punto de vista conceptual, es un modelo para construir sistemas de información, que se sustenta en la idea de repartir el tratamiento de la información y los datos por todo el sistema informático, permitiendo mejorar el rendimiento del sistema global de información. En la figura 1.32 se muestra el intercambio de información mediante una red, entre un servidor y dos clientes.

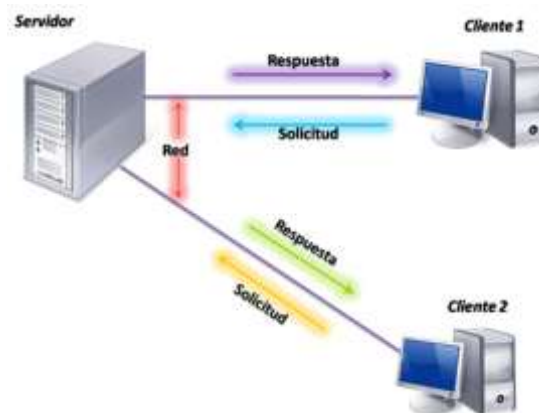


Figura 1.27: Modelo Cliente Servidor.

En términos de arquitectura, los distintos aspectos que caracterizan a una aplicación (proceso, almacenamiento, control y operaciones de entrada y salida de datos) en el sentido más amplio, están situados en más de un computador, los cuales se encuentran interconectados mediante una red de comunicaciones. El modelo cliente/servidor es un modelo de comunicación de computadores en el cual el computador cliente solicita servicios al computador servidor por medio de mensajes. [19]

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE MONITOREO ENERGÉTICO

Este proyecto se diseñará e implementará para obtener un Sistema de Monitoreo Energético de los recursos utilizados en el campus Guillermo Rodríguez Lara de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE extensión Latacunga, campus ubicado en el cantón Latacunga, en la Parroquia Belisario Quevedo.

En éste capítulo se realiza el diseño de todos los componentes y equipos que conforman el Sistema de Monitoreo Energético, dentro de los cuales están involucrados el medidor de energía eléctrica, el sensor de nivel, la comunicación entre los equipos, el sistema de adquisición de datos, y la interfaz gráfica mediante página web.

Todos los equipos y el sistema en sí que conformarán el proyecto serán diseñados en base a un estudio que involucran los parámetros técnicos necesarios para su instalación en cada una de sus etapas, acorde a las necesidades y dificultades reales que se encuentran en el campus Rodríguez – Lara.

2.1. Diseño y selección del Medidor de Energía Eléctrica.

El diseño y selección del medidor de Consumo de Energía Eléctrica se lo realiza mediante los requerimientos técnicos basados en el lado de baja del transformador del campus Rodríguez Lara. A continuación se muestra en la tabla 2.1, los parámetros técnicos que se utilizaron para la selección del medidor, ya que en éste lado del transformador es en donde va a ser instalado el medidor de energía eléctrica.

2.1.1. Parámetros Técnicos de la red de Baja Tensión a monitorear.

Transformador: 3 Ø

S= 300 KVA

V Primario= 13800/7621 V

V secundario = 220/127 V

Ec 2. 1

$$S = \sqrt{3} V_{sec} * I_{nom}$$

$$I_{nom} = \frac{S}{\sqrt{3} * V_{sec}}$$

$$I_{nom} = \frac{300 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * (220 \text{ V})}$$

$$I_{nom} = 787.29 \text{ A}$$

Tabla 2.1.- Datos de la Cámara de Transformación

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	
Tipo de Red	Trifásica 3 Ø
Potencia del Transformador (S)	300 KVA
Tipo de Transformador	Padmounted
Primario del Transformador	13.8 KV 12.55 A
Secundario del Transformador	220/127V 788 A
Frecuencia	60 Hz

Fuente: Autoría Propia

2.1.2. Selección del Medidor de Energía Eléctrica Siemens Sentron PAC 3200

El medidor de energía Siemens Sentron Pac 3200 cumple con todos los requerimientos técnicos establecidos en la tabla 2.1, por lo que es seleccionado para utilizarlo en el proyecto.

El SENTRON PAC3200 dispone de una serie de útiles funciones de monitoreo, diagnóstico y servicio técnico, un contador de energía activa (Kwh) y reactiva (Kwhr), es también un multímetro tipo central de medida para la visualización de todos los parámetros de red relevantes en la distribución de energía eléctrica en baja tensión. Puede realizar mediciones monofásicas, bifásicas y trifásicas, y puede utilizarse en redes o sistemas en esquema TN (Tierra-Neutro), TT (Tierra-Masa) e IT (Aislamiento de alimentación a tierra-equipo conectado a masa) de dos, tres o cuatro conductores.

En la figura 2.1 se muestra el medidor de energía seleccionado para el proyecto.



Figura 2.1: Multimedidor SENTRON PAC 3200 marca Siemens

Fuente: Manual SENTRON PAC 3200

Gracias a su amplio rango de tensión medida, el SENTRON PAC3200 con fuente de alimentación multi-rango puede conectarse directamente a cualquier red de baja tensión con una tensión nominal de hasta 690 V (máx. 600 V para UL). Pueden medirse tensiones superiores si se usan transformadores de tensión. Para la medida de corrientes se pueden utilizar transformadores de corriente x/1 A o x/5 A.

La gran pantalla gráfica de cristal líquido permite la lectura incluso a grandes distancias. El SENTRON PAC3200 dispone de una retroiluminación regulable para garantizar una lectura óptima incluso en condiciones lumínicas desfavorables. [20]

2.1.3. Diseño de los Transformadores de Corriente TC's para la conexión con el Medidor Sentron PAC 3200

Para realizar el diseño de los TC'S que se conectarán al medidor Sentron PAC 3200, se toman en cuenta los parámetros técnicos descritos en la tabla 2.1.



Figura 2.2: Transformador de Corriente TC

Fuente: corpssca.com

En la tabla 2.2 se muestran las características de los transformadores de corriente que serán utilizados para la conexión con el medidor.

Tabla 2.2.- Características Técnicas de los TC's

Detalles técnicos generales	
Designación del producto	Transformador de Corriente.
Clase de precisión del transformador	Clase 1
Valor nominal corriente de entrada	800 A
Valor nominal corriente de salida	5 A
Valor nominal potencia aparente de servicio	10 - 15 VA
Frecuencia	60 Hz

Fuente: Catálogo Camsco.pdf

2.1.4. Datos técnicos del Medidor Sentron PAC 3200

Los Parámetros técnicos y de operación del multimedidor se muestran en la tabla 2.3, los cuales están acordes a los requerimientos técnicos del sistema o red en la cual va a ser implementada.

Tabla 2.3.- Parámetros Técnicos del Medidor Sentron Pac 3200

Parámetros Técnicos Medidor de Energía Eléctrica SENTRON PAC 3200		
Alimentación	Rango nominal	<ul style="list-style-type: none"> • 95 ... 240 V AC (50 / 60 Hz) • 110 ... 340 V DC
	Área de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • $\pm 10\%$ del rango nominal AC • $\pm 10\%$ del rango nominal DC
	Consumo	<ul style="list-style-type: none"> • Típico 8 VA (con módulo)
	Categoría de sobretensión	<ul style="list-style-type: none"> • CAT III
Entrada de Tensión Alterna	Modelo con fuente de alimentación multirango Tensión de fase UL-N Tensión compuesta UL-L	<ul style="list-style-type: none"> • AC 3~ 400 V (+ 20 %), máx. 347 V para UL • AC 3~ 690 V (+ 20 %), máx. 600 V para UL
	Modelo con fuente de alimentación de muy baja tensión Tensión de fase UL-N Tensión compuesta UL-L	<ul style="list-style-type: none"> • AC 3~ 289 V (+ 20 %) • AC 3~ 500 V (+ 20 %)

Entrada de Corriente Alterna	Corriente de entrada IE	<ul style="list-style-type: none"> • AC 3~ x / 1 A (+ 20 %, máx. 300 V) ó • AC 3~ x / 5 A (+ 20 %, máx. 300 V)
	Sobrecarga de choque soportable	<ul style="list-style-type: none"> • 100 A durante 1 s
	Consumo de potencia por fase	<ul style="list-style-type: none"> • 4 mVA a 1 A • 115 mVA a 5 A

Fuente: Manual de Producto Sentron PAC 3200 – Siemens. Pdf

2.1.5. Funciones de registro del Multimedidor Sentron PAC 3200.

- Registro de las curvas de carga.
- Valores promedio de la potencia aparente, activa y reactiva.
- Valores mínimos / máximos Por cada período de medición.
- Almacenamiento del registro En períodos de medición de 15 min hasta 40 días
- Sincronización de: Entrada digital, Comunicación, reloj interno.
- Conformación ajustable del valor medio Aritmética o acumulada.
- Métodos de registro Bloque fijo o deslizante.
- Registro de eventos.
- Cantidad máxima de eventos – > 4000.
- Control de prioridades.
- Niveles de aviso, elegibles.
- Obligación de suministrar acuse de recibo, ajustable.
- Almacenamiento de eventos, configurable.

- Interfaces.
- Ethernet (Integrada) Para cable de par cruzado 10 Mbit/s 10/100Mbit/s.
- Cantidad de conexiones Simultáneas 1 3.
- Protocolo Modbus TCP.

2.1.6. Registros Modbus del Medidor Sentron PAC 3200

El medidor de parámetros eléctricos de Siemens SENTRON PAC 3200 ofrece la posibilidad de poder conectarnos a una red industrial mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP, dichos registros serán muy importantes para la comunicación con el sistema de adquisición de datos, éstos registros Modbus se encuentran especificados en el **ANEXO A**.

En la figura 2.3 se muestra una comunicación Modbus TCP-IP entre dos medidores Sentron Pac 3200 y un PLC los cuales forman una red industrial utilizada en aplicaciones de automatización, dichos equipos son ofertados por la marca Siemens.



Figura 2.3: Comunicación Modbus TCP-IP Sentron PAC 3200

Fuente: SIMATIC S7-1200 via Modbus/TCP

2.2. Diseño y selección del sensor de Nivel de Agua.

El diseño del sensor de nivel que fue instalado en el tanque de agua de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, se lo realizó tomando en cuenta las diferentes características de dicho tanque como el volumen, la altura, nivel a ser medido, el tipo de líquido, temperatura, etc. En la tabla 2.4 se indican las características técnicas del tanque de Agua del campus que se toman en cuenta para la selección del sensor de Nivel.

Tabla 2.4.- Características Técnicas Tanque de Agua del campus politécnico

Altura del Tanque	3.20 metros
Temperatura	20° C (Promedio)
Nivel a sensar	2.5 metros
Tipo de líquido	Agua

Fuente: Autoría Propia

La figura 2.4 muestra una imagen de la fachada del tanque de agua del campus, en el cual fue instalado el sensor de nivel, los datos obtenidos en la tabla 2.4 así como las dimensiones del tanque se pueden encontrar en los planos ubicados en el **ANEXO B**.



Figura 2.4: Tanque de agua campus politécnico

Fuente: Autoría Propia

2.2.1. Sensor de Nivel Ultrasónico UC6000 – 30GM PEPPERL + FUCKS

Se selecciona el sensor de nivel ultrasónico UC6000 – 30GM de la marca PEPPERL + FUCKS, ya que cumple con todas las características técnicas necesarias para la medición del nivel de agua descritas en la tabla 2.4. En la figura 2.5 se muestra el sensor de nivel seleccionado en el proyecto.



Figura 2.5: Sensor de Nivel Ultrasónico UC6000 Pepperl + fuchs.

Fuente: Sensor ultrasónico UC6000-30GM-IUR2-V15 - www.pepperl-fuchs.com

Dicho sensor tiene la característica de no ser invasivo, cualidad muy importante para ser instalado con facilidad sin alterar el sistema de agua implementado en el campus y el cual se encuentra en funcionamiento.

La tabla 2.5 muestran algunas de las características técnicas de funcionamiento del sensor de nivel ultrasónico, las cuales están acordes a los parámetros requeridos en la tabla 2.4, es por ello que se selecciona dicho sensor de nivel, además del costo que es inferior en comparación a las diferentes marcas que ofertan sensores similares.

Tabla 2.5.- Características Técnicas del Sensor de nivel UC6000

Tipo de sensor	Ultrasonido
Alcance	350...6000mm
Configuración de salida	analógica 4-20mA / 0-10V
Tensión de alimentación	10...30V CC
Carcasa de sensor	M30
Conexión	Terminal M12 5pin
Clase de impermeabilidad	IP65
Temperatura de trabajo	0...70°C
Corriente de trabajo máx.	200mA
Interfaz PC	RS232

Fuente: Sensor ultrasónico UC6000-30GM-IUR2-V15 - www.pepperl-fuchs.com

Una característica muy importante por la que se seleccionó el sensor de nivel ultrasónico UC6000-30GM-IUR2-V15, es que posee una salida analógica programable de 4-20 mA ó 0-10 Vdc como se muestra en la figura 2.6, señal que se utiliza para ser conectada mediante una tarjeta de

acondicionamiento a un módulo de transmisión vía radio llamado XBEE, el cual posee entradas analógicas de voltaje.

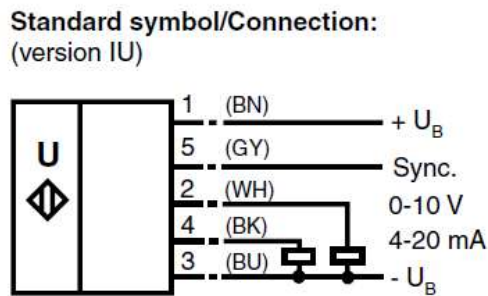


Figura 2.6: Salida Analógica del sensor UC6000

Fuente: Ultrasonic sensor UC6000-30GM-IUR2-V15.pdf

En el **ANEXO C** se puede encontrar el catálogo del producto con todas sus características, dimensiones y diagramas de conexión.

2.3. Diseño y selección de los módulos de comunicación Zigbee

Debido a la distancia que existe entre el tanque de agua y la sala de control en donde va a ser instalado el sistema de monitoreo la cual es aproximadamente 900 metros, se creó la necesidad de analizar una comunicación inalámbrica entre el sensor de nivel y la sala de control.

Luego de realizar un análisis de algunas de las formas de comunicación inalámbricas que se ofertan en el mercado, se llegó a la conclusión de que la comunicación con tecnología ZigBee es la más factible para ser implementada ya que posee la ventaja de transmisión de datos a grandes distancias y el costo es relativamente bajo en comparación al resto de comunicaciones inalámbricas.

2.3.1. Módulos Xbee PRO S2B.

Los módulos XBee PRO S2B ofrecen las mismas soluciones que proporcionan conectividad de punto final inalámbrica entre los dispositivos de la serie 1, éstos módulos utilizan el protocolo de red IEEE 802.15.4

Pueden comunicarse en arquitecturas punto a punto, punto a multi punto o en una red mesh. La elección del módulo XBee correcto pasa por escoger el tipo de antena (chip, alambre o conector SMA) y la potencia de transmisión (2mW para 300 pies o 60mW para hasta 1 milla). En la figura 2.7 se muestran los módulos xbee utilizados en el proyecto.



Figura 2.7: Módulos Xbee PRO S2B

Fuente: XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules. Pdf – Digi International

Los módulos Xbee proveen 2 formas amigables de comunicación: Transmisión serial transparente (modo AT) y el modo API que provee muchas ventajas. Los módulos Xbee pueden ser configurados desde el PC utilizando el programa X-CTU o bien desde el microcontrolador. [21]

2.3.2. Características Técnicas de los módulos Xbee PRO S2B.

En la tabla 2.6 se muestran las características técnicas más importantes de los módulos xbee PRO S2B, las cuales cumplen con las condiciones

requeridas para la comunicación entre el sensor de nivel y la sala de control en el edificio central del campus.

Tabla 2.6.- Características Técnicas Xbee PRO S2B

Cobertura en Interiores	Hasta 300 ft. (90 m)
Cobertura en Exteriores	Hasta 2 miles (3200 m), con línea de vista
Potencia de Salida	63mW (+18 dBm)
Transferencia de Datos	Hasta los 35000 bps.
Transmisión de datos Interfaz Serial	1200 bps - 1 Mbps
Voltaje de Alimentación	2.7 - 3.6 V
Corriente de Operación – Transmisión	205 mA @ 3.3 V
Corriente de Operación - Recepción	47 mA @ 3.3 V
Banda de Frecuencia	2.4 GHz
Dimensiones	0.960 x 1.297 (2.438cm x 3.294cm)
Temperatura de Funcionamiento	-40 to 85° C (industrial)
Opciones de Antena	RPSMA
Topologías de Red	Punto – punto, punto – multipunto, igual – igual y mesh.

Fuente: XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules. Pdf – Digi International

2.3.3. Circuito básico de Conexión para el Xbee.

La Figura 2.8 muestra las conexiones mínimas que necesita el módulo Xbee para poder ser utilizado, luego de esto se debe configurar según el modo de operación que se desea para la aplicación requerida por el usuario.

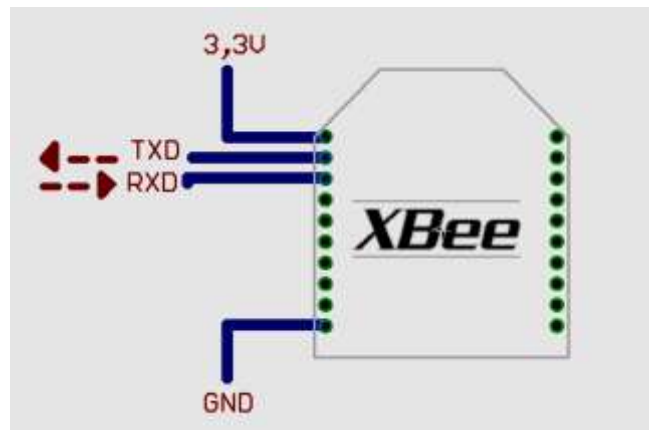


Figura 2.8: Circuito de Conexión del módulo Xbee.

Fuente: Guía del Usuario XBEE Series 1.pdf - Ingeniería MCI LTDA (2010)

El módulo requiere una alimentación desde 2.7 a 3.6 V, la conexión a tierra y las líneas de transmisión de datos por medio del UART (TXD y RXD) para comunicarse con un microcontrolador, o directamente a un puerto serial utilizando algún conversor adecuado para los niveles de voltaje.

Esta configuración, no permite el uso de Control de Flujo (RTS & CTS), por lo que ésta opción debe estar desactivada en el terminal y en el módulo XBEE. En caso de que se envíe una gran cantidad de información, el buffer del módulo se puede sobrepasar, para evitar éste inconveniente existen dos alternativas: bajar la tasa de transmisión y activar el control de flujo. [22]

2.3.4. Tarjeta Arduino y módulo Xbee Shield.

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos. En la figura 2.9 se muestra a la tarjeta Arduino uno que se utiliza en el proyecto.



Figura 2.9: Tarjeta Arduino Uno R3

Fuente: Arduino Home-Page por el A-Team

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores, el microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring¹⁴) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing¹⁵). [23]

Se selecciona la tarjeta de adquisición de datos Arduino uno R3 ya que posee la característica de tener entradas analógicas, la cual nos servirá para poder ser conectada a la salida analógica del sensor de nivel, tomando en cuenta que se mejorará la resolución de la toma de datos ya que la tarjeta posee un conversor análogo digital con una resolución de 10 bits.

Además para la transmisión de datos entre los módulos xbee PRO S2B se selecciona un módulo que va acoplado a la tarjeta Arduino llamado Xbee Shield para Arduino, en la figura 2.10 se muestra el módulo xbee shield diseñado para Arduino.

¹⁴ **Wiring.**- Lenguaje de Arduino basado en la programación C++

¹⁵ **Processing.**- Lenguaje de Arduino basado en la programación JAVA



Figura 2.10: Módulo Xbee Shield para arduino

Fuente: Robótica al descubierto en: <http://solorobotica.blogspot.com/>

El módulo Xbee shield envía los datos obtenidos mediante la entrada analógica de la Arduino mediante una comunicación serial, el xbee coordinador adquiere éstos datos y los muestra mediante el puerto serial en la PC, para posteriormente ésta información ser procesada por el programa de adquisición de datos diseñado en labview.

2.4. Diseño del sistema de monitoreo de consumo energético mediante labview.

Para el diseño del sistema de monitoreo energético tanto de energía eléctrica como consumo de agua se utiliza el software de adquisición de datos Labview de la National Instruments descrito anteriormente. Se utiliza éste software ya que es una herramienta muy completa utilizada en la mayoría de aplicaciones de ingeniería.

La ventaja de la utilización de éste software es la factibilidad de realizar una comunicación con equipos industriales, electrónicos entre otros, mediante protocolos de comunicación utilizados por la industria y los desarrolladores de los distintos equipos que van a ser utilizados en éste proyecto.

En la figura 2.11 se muestra un bosquejo del sistema de monitoreo diseñado que posteriormente será implementado.

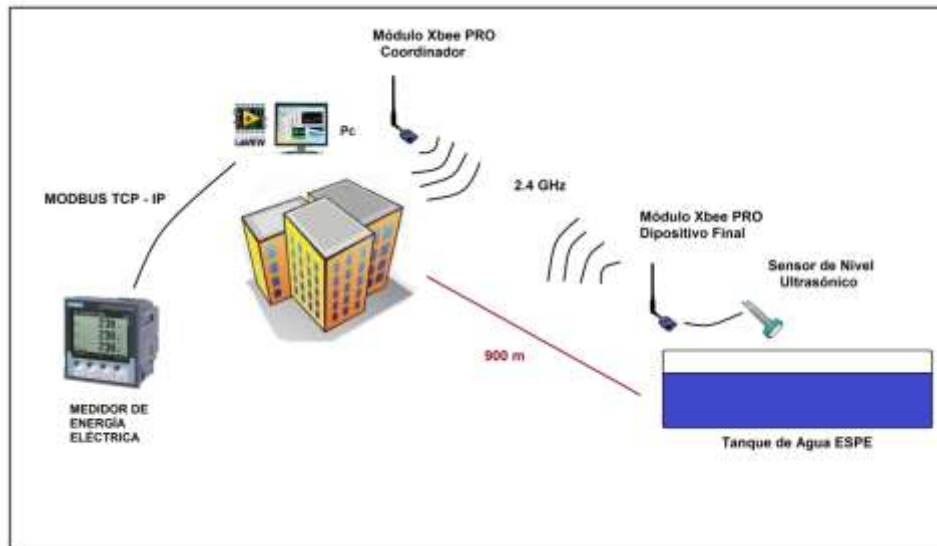


Figura 2.11: Sistema de Monitoreo Energético

Fuente: Autoría Propia

El sistema de monitoreo a ser diseñado consta de dos etapas o subVI's, dentro de las cuales se encuentra el sistema de monitoreo del consumo de energía eléctrica independientemente de la segunda que es el sistema de monitoreo del consumo de agua, estas dos etapas se encuentran unificadas en un solo VI el cual será el HMI o interfaz hombre máquina que podrá ser visualizado y monitoreado por personal autorizado en la sala de control ubicada en el campus Rodríguez – Lara de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

2.4.1. Diseño del Sistema de Monitoreo de Consumo de Energía Eléctrica.

Para el diseño del sistema de monitoreo de energía eléctrica se utiliza el software labview que posee la característica de comunicación vía Modbus

TCP-IP, mediante las librerías de NI Modbus las cuales pueden comunicarse con dispositivos o equipos que interpreten este protocolo de comunicación.

En la figura 2.12 se puede observar la librería NI Modbus, la cual nos permite dos opciones de comunicación, mediante Modbus Serial o Modbus TCP mediante una red Ethernet, ésta última es la que se va a utilizar ya que el medidor de energía eléctrica de Siemens Sentron PAC 3200, posee la característica de comunicarse vía Modbus TCP-IP.

Para la comunicación del medidor de energía Sentron PAC 3200 con labview se utilizan registros Modbus que especifica el fabricante del medidor, siendo éstos registros a los que labview accederá mediante la librería Modbus, para medir las variables eléctricas de la red.

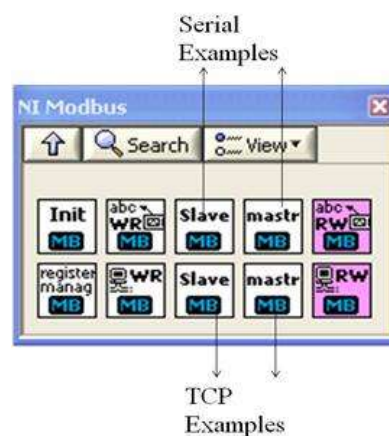


Figura 2.12: Librería NI Modbus de Labview

Fuente: Introducción a Modbus - www.ni.com

En la tabla 2.7 se indican los registros Modbus utilizados en la programación en labview, la dirección de éstos registros y otros más se pueden encontrar en el **ANEXO A**.

Tabla 2.7.- Parámetros de Configuración Modbus Sentron PAC con labview

Variables eléctricas	Registros Modbus SENTRON PAC 3200	Tipo de Dato	Unidad
Tensión L1-N	1	Flotante	Voltios (V)
Tensión L2-N	3	Flotante	Voltios (V)
Tensión L3-N	5	Flotante	Voltios (V)
Tensión L1-L2	7	Flotante	Voltios (V)
Tensión L2-L3	9	Flotante	Voltios (V)
Tensión L3-L1	11	Flotante	Voltios (V)
Corriente L1	13	Flotante	Amperios (A)
Corriente L2	15	Flotante	Amperios (A)
Corriente L3	17	Flotante	Amperios (A)
Frecuencia	55	Flotante	(Hz)
Potencia Aparente total	63	Flotante	(VA)
Potencia Activa total	65	Flotante	(W)
Potencia Reactiva total	67	Flotante	(VAR)
Energía Activa Consumida	2801	Flotante	Kwh

Fuente: Manual de Producto Sentron PAC 3200 – Siemens. pdf

El sistema de monitoreo de consumo de energía eléctrica consta de dos etapas, entre las cuales se encuentran los parámetros de configuración para la comunicación del medidor Sentron PAC 3200 con labview y el HMI del sistema de monitoreo de las variables eléctricas y del consumo de energía en Kwh. En la figura 2.13 se muestra el panel frontal de configuración del medidor de energía Sentron PAC 3200, dichos registros se encuentran ubicados en la tabla 2.7 los cuales deben ser ubicados junto con la dirección IP de la red y el puerto al que se encuentra conectado el medidor.



Figura 2.13: Panel frontal de los parámetros de configuración del Sentron PAC 3200.

Fuente: Autoría Propia

Una parte de la programación en el diagrama de bloques del panel frontal de los parámetros de configuración del Sentron PAC 3200, se puede observar en la figura 2.14. La programación completa del panel frontal así como del resto de los parámetros se puede encontrar en el **ANEXO C**.

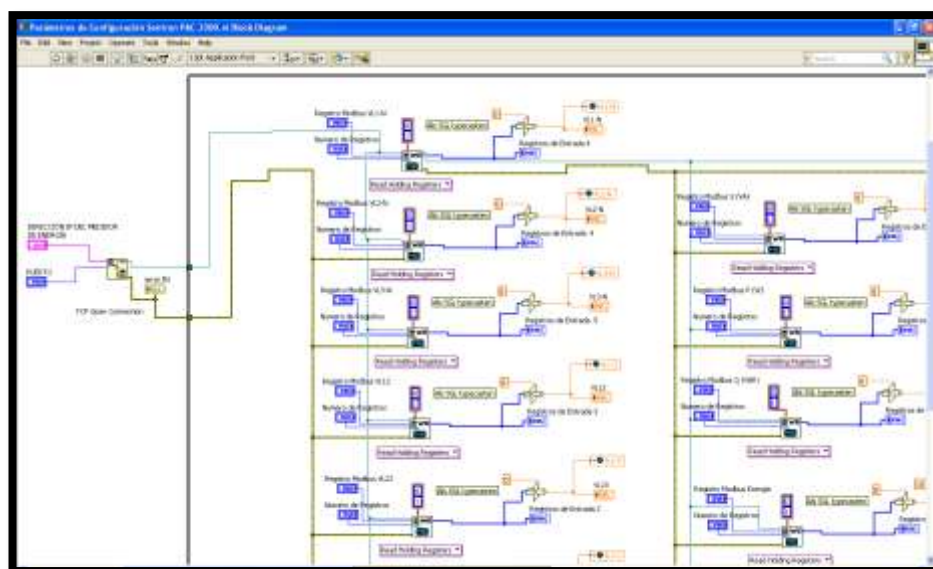


Figura 2.14: Diagrama de Bloques de Programación de parámetros de configuración Sentron PAC 3200

Fuente: Autoría Propia

El funcionamiento de la interfaz de los parámetros de configuración se detalla en la Figura 2.15, en el cual se muestra la secuencia de funcionamiento de dicha interfaz mediante un diagrama de flujos.

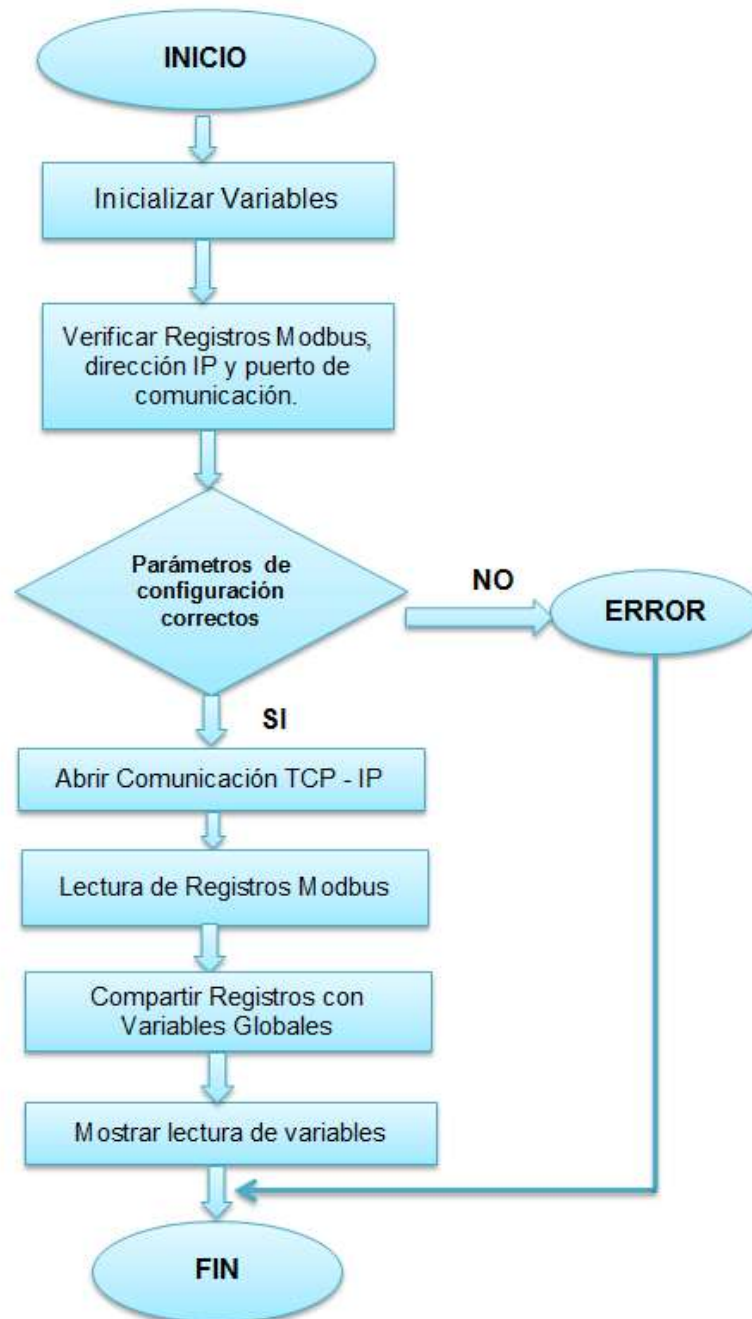


Figura 2.15: Diagrama de flujo funcional de los parámetros de comunicación Modbus Sentron PAC 3200

Fuente: Autoría Propia

El diseño del HMI del sistema de monitoreo de consumo de energía eléctrica y de los diferentes parámetros eléctricos como: voltajes línea – neutro, voltajes entre líneas, corrientes de línea, potencias (P, Q, S), frecuencia, se lo puede observar en la Figura 2.16, la cual muestra el panel frontal que será visualizado y monitoreado por personal técnico autorizado que tenga permiso para acceder al mismo.

La figura 2.16 muestra los diferentes datos obtenidos por el medidor de energía Sentron PAC 3200 en tiempo real, los cuales pueden ser visualizados mediante el HMI diseñado en labview al igual que cada una de las gráficas de los datos vs el tiempo en el que está corriendo el programa diseñado.

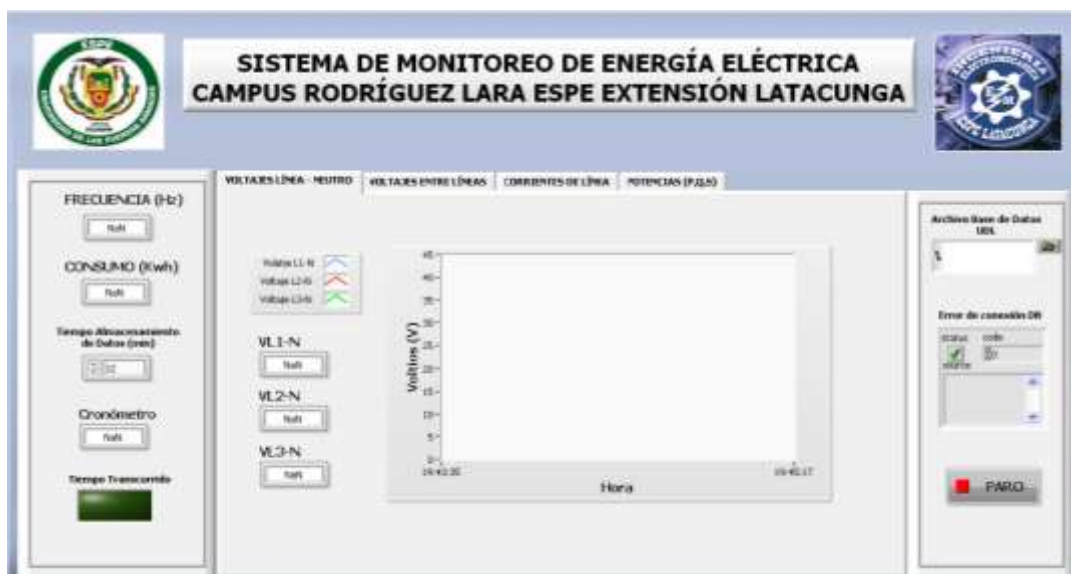


Figura 2.16: Panel frontal del sistema de monitoreo de consumo de energía y demás parámetros eléctricos

Fuente: Autoría Propia

La programación de dicho sistema de monitoreo se lo puede observar en el diagrama de bloques de programación que se muestra en la figura 2.17.

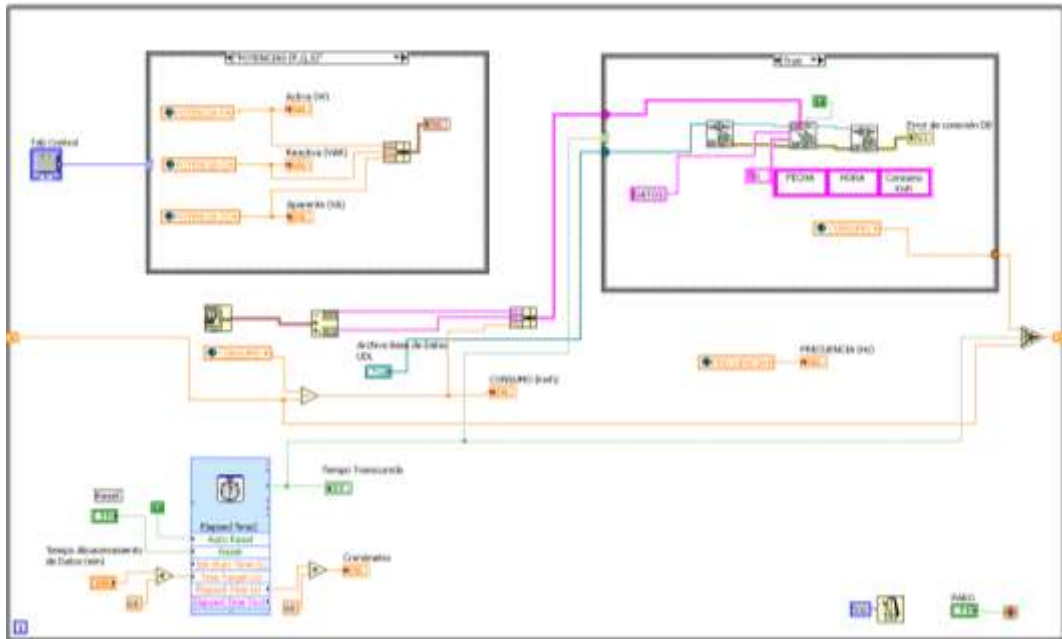
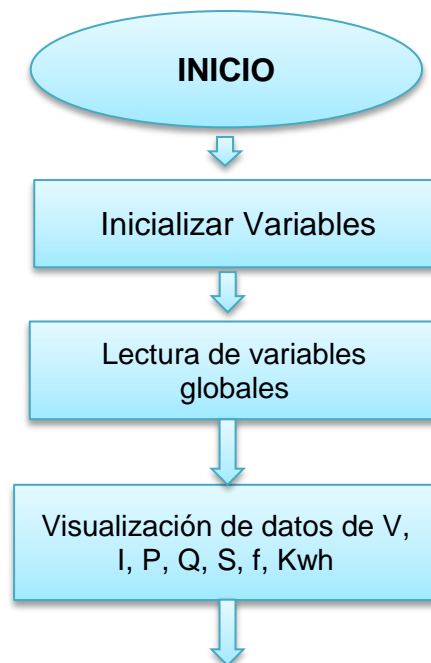


Figura 2.17: Diagrama de Bloques de Programación del HMI del sistema de monitoreo de consumo de energía eléctrica.

Fuente: Autoría Propia

El funcionamiento del diagrama de bloques del sistema de monitoreo de energía se lo describe mediante un diagrama de flujo, el cual indica las diferentes etapas del sistema, dicho diagrama se muestra en la figura 2.18.



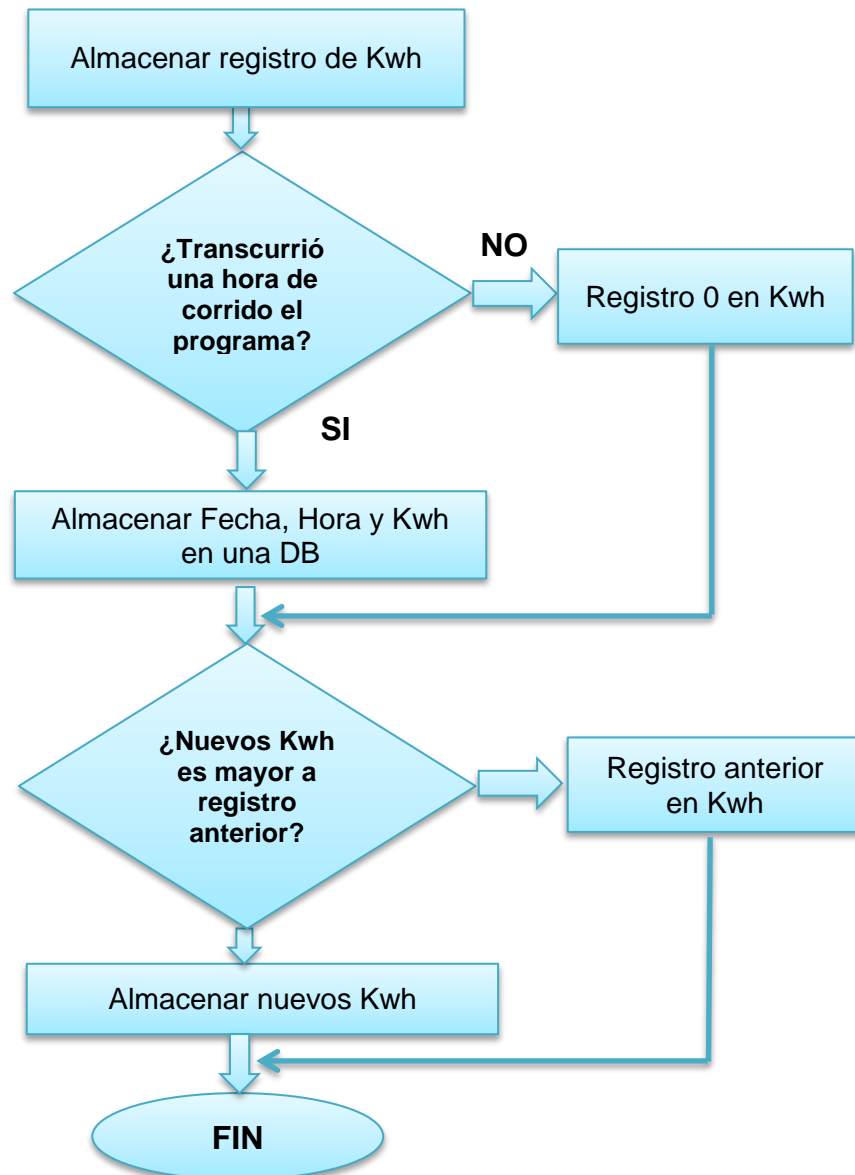


Figura 2.18: Diagrama de flujo funcional del sistema de monitoreo de consumo de energía.

Fuente: Autoría Propia

2.4.2. Diseño del Sistema de Monitoreo de Consumo de Agua.

El diseño del sistema de monitoreo de consumo de agua se realizó tomando en cuenta la distancia existente entre el tanque de agua del campus hacia la sala de control ubicado en el bloque de aulas donde se

instalará una PC, en la cual se diseña el sistema de monitoreo mediante el software Labview de National Instruments.

El registro de datos de consumo de agua se lo realiza tomando datos del nivel de agua del tanque y realizando una relación en labview, ya que no fue posible la implementación de un medidor de caudal que entregaría el consumo exacto del bloque de aulas, por motivos técnicos ya que el sistema de distribución se encuentra presurizado y la instalación de cualquier equipo dentro del mismo podría disminuir el rendimiento del sistema.

Para la medición de nivel de agua se implementó un sensor ultrasónico de nivel con salida analógica de 0-10 Vdc, mediante un divisor de voltaje la señal se la acondiciona a un voltaje entre 0 a 5 Vdc, la cual es llevada a la entrada analógica de una tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino, la tarjeta Arduino convierte la señal analógica de 0-5 Vdc a una señal digital de 0-1023, ya que ésta tarjeta posee un conversor A/D (Análogo - Digital) con resolución de 10 bits.

La señal digital procesada por la tarjeta Arduino es programada para que pueda ser transmitida mediante una comunicación serial (Rx, Tx), los datos seriales son transmitidos mediante la tecnología ZigBee 802.15.4 mediante los dispositivos Xbee PRO S2B, los cuales son programados como coordinador y dispositivo final.

La figura 2.19 muestra el diagrama de bloques en el que consta el proceso de comunicación entre el sensor de nivel, el sistema de adquisición de datos y los diferentes equipos que intervienen en dicha comunicación.

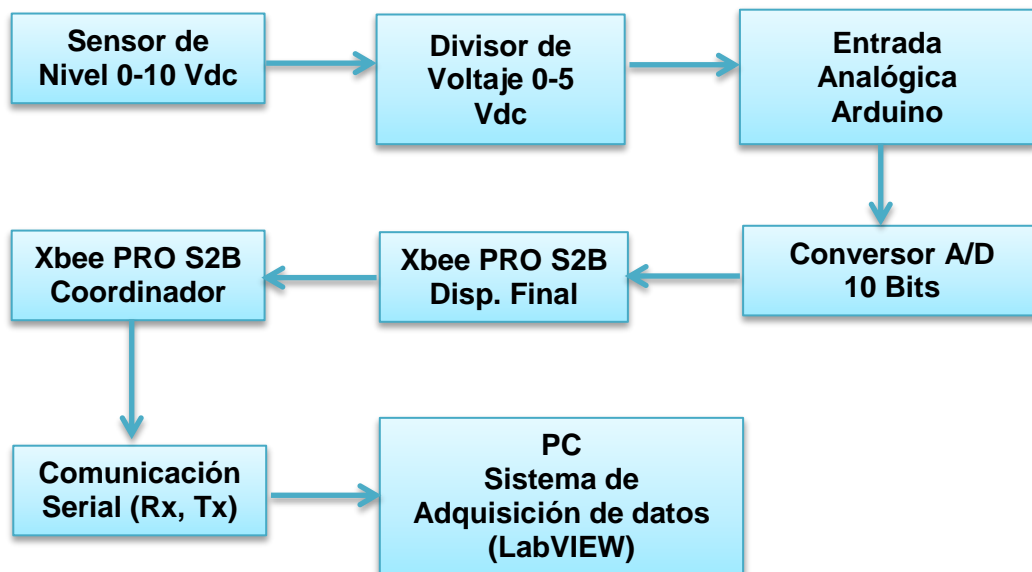


Figura 2.19: Diagrama de bloques del proceso de adquisición de datos de nivel de agua.

Fuente: Autoría Propia

El sistema de monitoreo de consumo de agua al igual que el sistema de monitoreo de consumo de energía eléctrica consta de dos etapas.

Los parámetros de configuración para la comunicación serial de los módulos Xbee con LabVIEW y el HMI del sistema de monitoreo de consumo de agua que calcula la relación del nivel de agua a litros, metros cúbicos o galones.

La figura 2.20 muestra el panel frontal con los parámetros de configuración serial entre el dispositivo Xbee (Coordinador) y el sistema de adquisición de datos diseñado en LabVIEW.

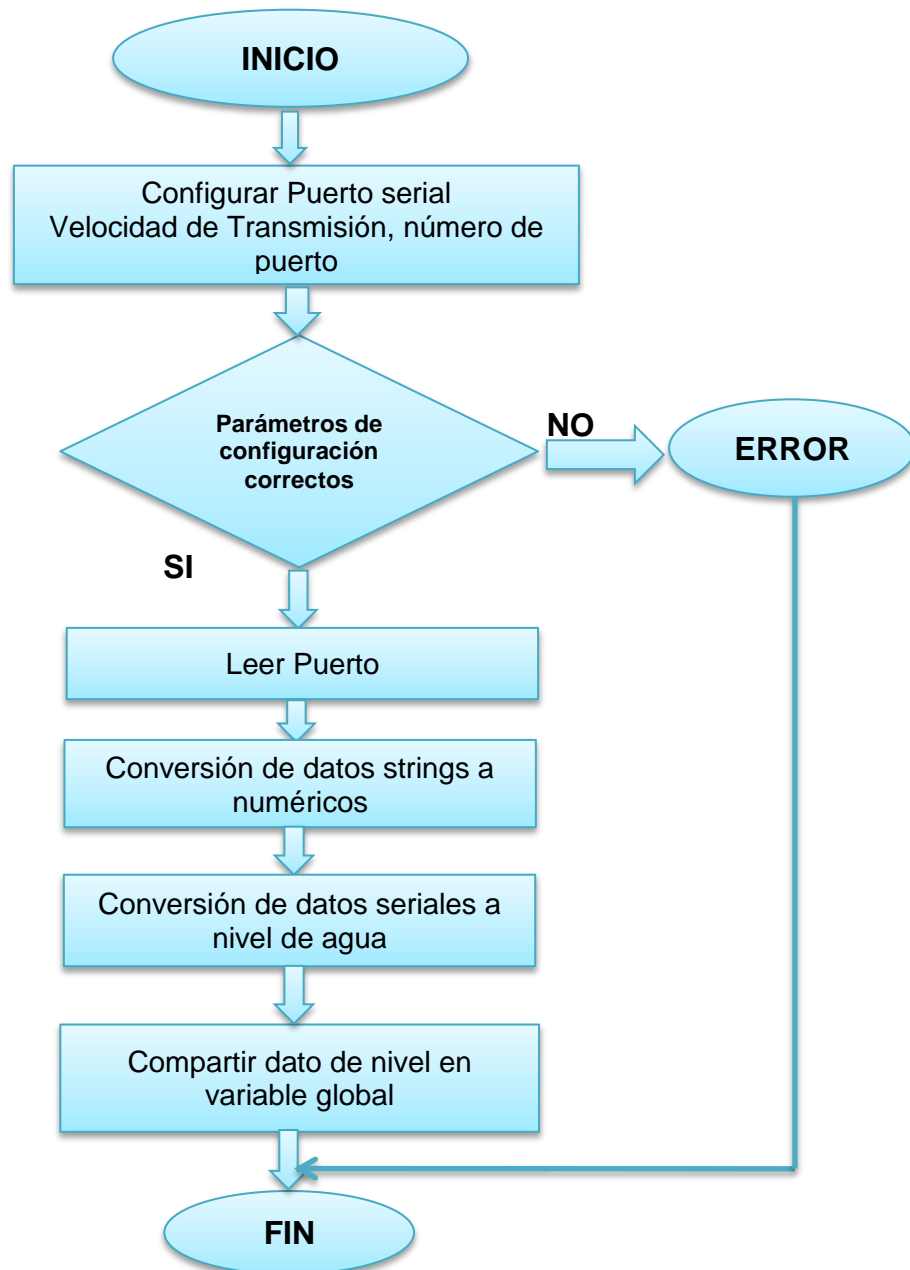


Figura 2.22: Diagrama de flujo funcional configuración serial xbee y labview.

Fuente: Autoría Propia

El diseño del HMI del sistema de monitoreo de consumo de agua, se lo puede observar en la Figura 2.23, la figura 2.24 muestra el diagrama de bloques de programación del sistema de monitoreo de consumo de agua.



Figura 2.23: Panel frontal o HMI del sistema de monitoreo de consumo de agua.

Fuente: Autoría Propia

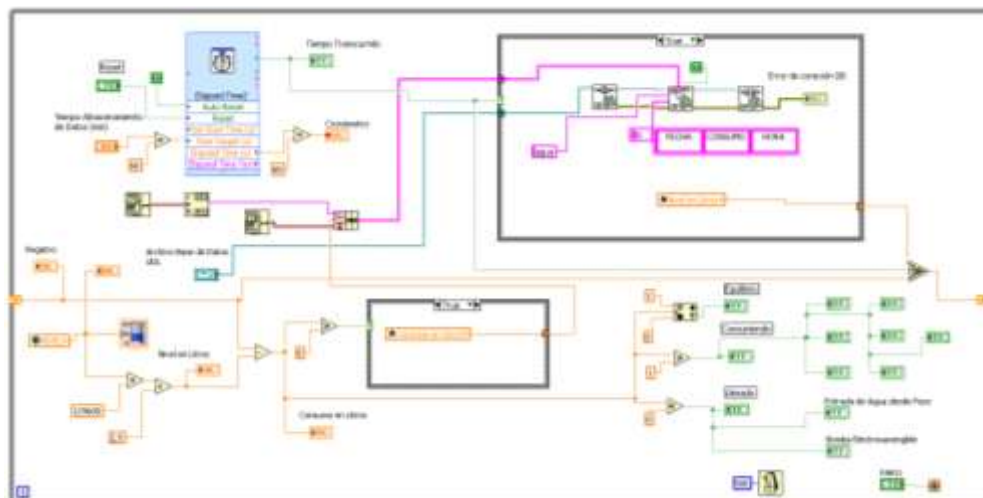


Figura 2.24: Diagrama de bloques de programación del sistema de monitoreo de consumo de agua.

Fuente: Autoría Propia

El funcionamiento del diagrama de bloques mostrado en la figura 2.24, se lo describe mediante un diagrama de flujo, como se observa en la figura 2.25.

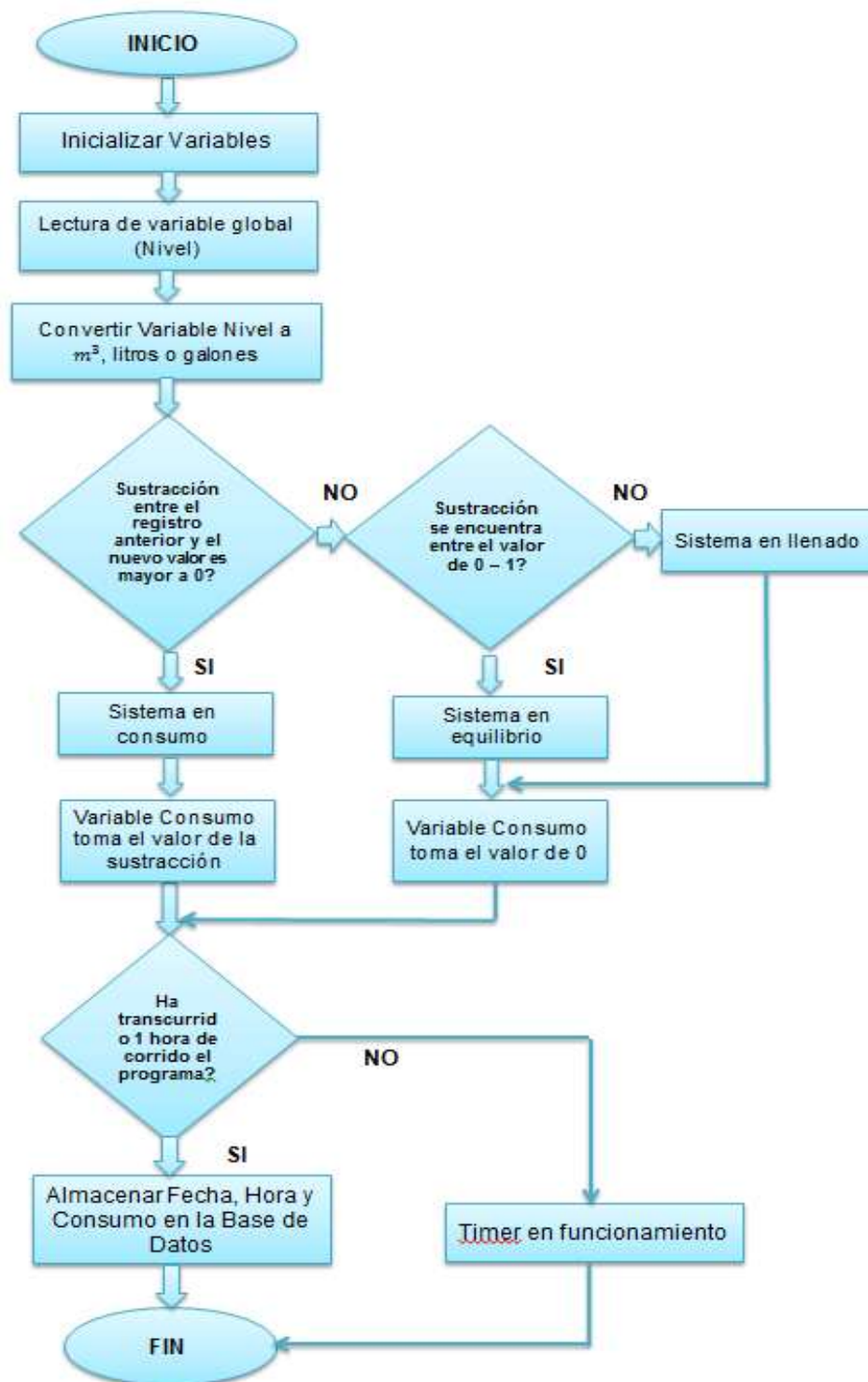


Figura 2.25: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de monitoreo de agua.

Fuente: Autoría Propia

2.4.3. Diseño de la Base de datos (DB) para el almacenamiento de los valores de consumo de energía eléctrica y agua.

Para el almacenamiento de la información de los datos de consumo energético es indispensable diseñar una base de datos, en la cual se pueda tener almacenada la información de fecha, hora y las variables de consumo, es por ello que Labview pone a disposición una librería o toolkit llamada **NI Database Connectivity Toolkit**¹⁶, la misma que se muestra en la figura 2.26.

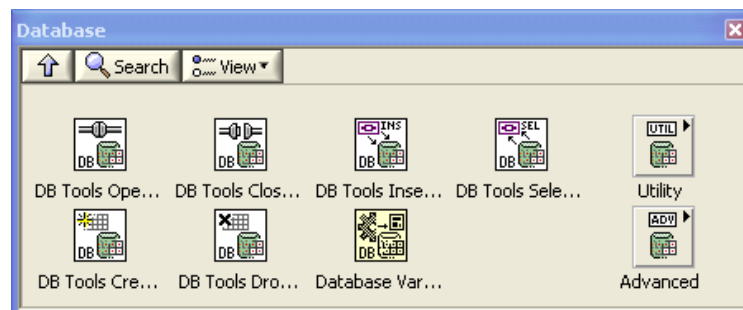


Figura 2.26: Labview NI Database Connectivity Toolkit.

Fuente: Seminario Web, Cree y administre su base de datos NI
<http://www.ni.com/webcast/2029/es/>

La librería NI Database Connectivity Toolkit posee una jerarquía de conexión entre la programación en labview y la base de datos que se seleccione. Más información acerca de ésta librería que ofrece National Instruments se la puede encontrar mediante un manual en el **ANEXO D**.

La figura 2.27 muestra la jerarquía típica de conexión entre los programas mencionados.

¹⁶ **NI Database Connectivity Toolkit.**- Herramientas de conexión National Instruments para la conexión entre Labview y mysql, Access, phpmyadmin.

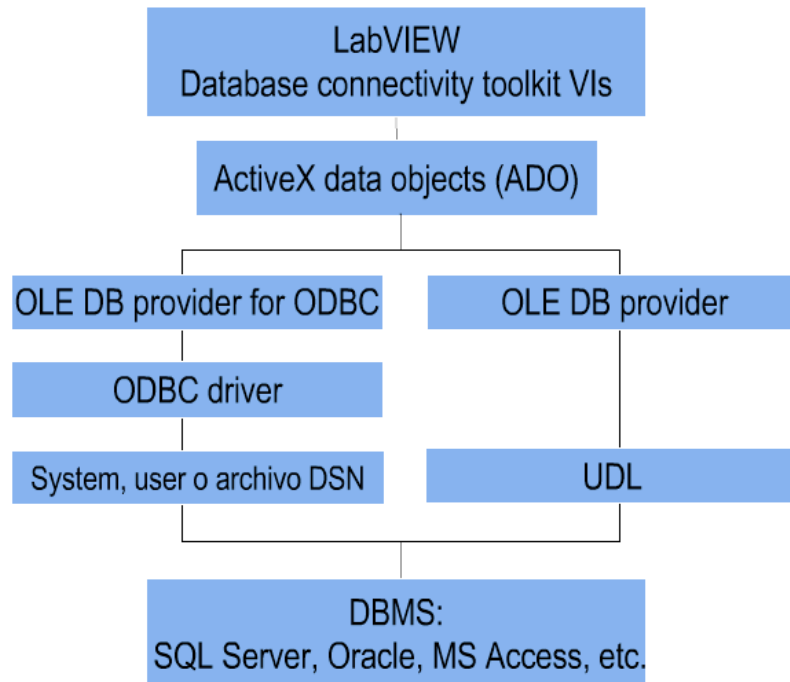


Figura 2.27: Jerarquía de comunicación entre labview y la base de datos.

Fuente: Seminario Web, Cree y administre su base de datos NI
<http://www.ni.com/webcast/2029/es/>

a. Conexiones a Base de datos.

Dentro de las opciones de comunicación entre Labview y una base de datos se tiene:

- **OBDC de Sistema y usuario DSN (Data Source Name).**

Contiene el nombre de la base de datos e información como el controlador ODBC, almacena la información en el registro del sistema, puede acceder cualquier persona mediante el sistema.

- **Archivo DSN (*.dsn).**

Se refiere a un archivo específico y no está restringido al usuario o al sistema.

- **UDL (Universal Data Link).**

Contiene información sobre el proveedor OLE DB, información del servidor, bases de datos, etc.

b. Diseño de la base de datos en MySQL.

La base de datos para el almacenamiento de la información de consumo de energía eléctrica y consumo de agua en el nuevo campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, se diseña en el administrador de base de datos phpMyAdmin ya que permite administrar bases de datos MySQL, a la vez ser programadas y utilizadas mediante el lenguaje de programación PHP, lo cual facilita la programación de la página web.

La figura 2.28 muestra la base de datos diseñada al igual que cada una de las tablas en las cuales se almacenará la información de consumo de energía eléctrica, consumo de agua, fecha y hora.



Figura 2.28: Base de datos MySQL de consumo de energía.

Fuente: Autoría Propia

La figura 2.29 muestra un diagrama que indica la base de datos diseñada y mostrada en la figura 2.28, en dicho diagrama consta la estructura principal de la base de datos, al igual que cada una de las tablas que conforman dicha Base de Datos.

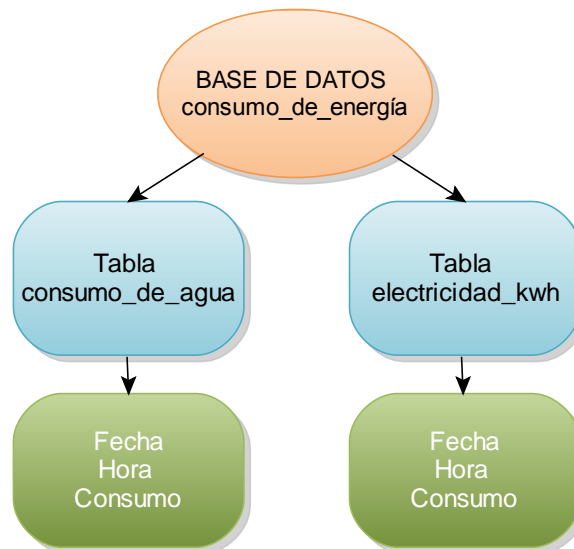


Figura 2.29: Estructura de la base de datos MySQL.

Fuente: Autoría Propia

2.5. Diseño de la página web para el monitoreo de consumo de energía mediante servicios web.

Para el monitoreo del consumo energético existente en el campus, se diseñó una página web programada mediante el lenguaje de programación PHP, la cual para ser diseñada utilizó diferentes softwares de programación dentro de los cuales se encuentran:

- **Adobe Photoshop CS6.-** es un editor de gráficos renderizados desarrollado por Adobe Systems principalmente usado para el retoque de fotografías y gráficos. Su nombre en español significa literalmente "taller de fotos". Es líder mundial del mercado de las aplicaciones de edición de

imágenes y domina este sector de tal manera que su nombre es ampliamente empleado como sinónimo para la edición de imágenes en general.

- **Adobe Flash CS6.**- se trata de una aplicación de creación y manipulación de gráficos vectoriales con posibilidades de manejo de código mediante un lenguaje de scripting llamado ActionScript. Flash es un estudio de animación que trabaja sobre "fotogramas" y está destinado a la producción y entrega de contenido interactivo para diferentes audiencias de todo el mundo sin importar la plataforma.
- **Adobe Dreamweaver.**- es una aplicación en forma de estudio (basada en la forma de estudio de Adobe Flash) que está destinada a la construcción, diseño y edición de sitios, vídeos y aplicaciones Web basados en estándares. Creado inicialmente por Macromedia (actualmente producido por Adobe Systems) es el programa más utilizado en el sector del diseño y la programación web, por sus funcionalidades, su integración con otras herramientas como Adobe Flash

En la figura 2.30 se muestra la página principal diseñada, a la que tendrán acceso mediante internet toda la comunidad politécnica, en la cual a su vez se despliegan dos submenús que se vinculan a la información del consumo de energía eléctrica y del consumo de agua respectivamente.

El código de programación de la página web principal se lo puede encontrar en el **ANEXO E**.

La librería Hightcharts utilizada en la programación de la página web es completamente gratuita y tiene la característica de ser programada mediante el lenguaje PHP, que es el lenguaje adecuado para poder enlazar la página diseñada al servidor de la Universidad.



Figura 2.30: Página web principal del sistema de monitoreo energético

Fuente: Autoría Propia

En la figura 2.31 se muestra la página web diseñada para que despliegue la información del consumo de energía eléctrica en Kilovatios.

Ésta página es un submenú de la página principal diseñada y programada mediante Dreamweaver y lenguaje PHP, ésta página posee la opción de seleccionar un intervalo de tiempo el cual realiza la consulta de los datos, éstos datos son graficados según el intervalo de tiempo seleccionado.

Dentro de la página web se dispone de un ícono que enlaza a una página diferente la cual fue programada para poder descargar la base de datos en formato xls, del consumo de energía eléctrica y de agua, estas bases de datos están almacenadas en MySQL.

El código de programación de ésta página web se lo puede encontrar en el **ANEXO F**.



Figura 2.31: Página web diseñada para el monitoreo de consumo de energía eléctrica

Fuente: Autoría Propia

En la figura 2.32 se muestra la página web diseñada para el despliegue de la información del consumo de agua en galones del campus, ésta página es un submenú de la página principal, posee la opción de seleccionar un intervalo de tiempo el cual realiza la consulta de los datos, éstos datos son graficados según el intervalo de tiempo seleccionado.

Al igual que la página web del consumo de energía eléctrica, dispone de un ícono que enlaza a una página diferente la cual fue programada para poder descargar la base de datos en formato xls, del consumo de energía eléctrica y de agua.

El código de programación de la página web para el monitoreo de consumo en agua se lo puede encontrar en el **ANEXO G**.



Figura 2.32: Página web diseñada para el monitoreo de consumo de agua

Fuente: Autoría Propia

La figura 2.33 muestra la página web diseñada para poder descargar las bases de datos, la programación fue realizada mediante el lenguaje PHP, el código de programación se lo puede encontrar en el **ANEXO H**.



Figura 2.33: Página web para descargar la base de datos

Fuente: Autoría Propia

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE MONITOREO ENERGÉTICO

Una vez finalizado el capítulo de diseño y selección de cada uno de los equipos necesarios, al igual que el diseño del software de monitoreo, que intervienen en el sistema, se procedió en éste capítulo a realizar la implementación y montaje de cada uno de los sistemas involucrados en el proyecto.

3.1. Implementación del Sistema de Monitoreo de Energía Eléctrica.

Para la implementación del sistema de monitoreo de energía eléctrica se utilizó un medidor de parámetros eléctricos Siemens de la serie SENTRON PAC 3200, el cual monitoreará los diferentes parámetros eléctricos de la red del campus Guillermo Rodríguez – Lara de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe extensión Latacunga.

La figura 3.1 muestra los diferentes elementos que intervienen dentro del sistema de monitoreo de consumo de energía eléctrica, dentro de los cuales se encuentran:

- Transformadores de Intensidad (TC's).
- Medidor de parámetros eléctricos.
- Computador.
- Interruptor termo magnético.

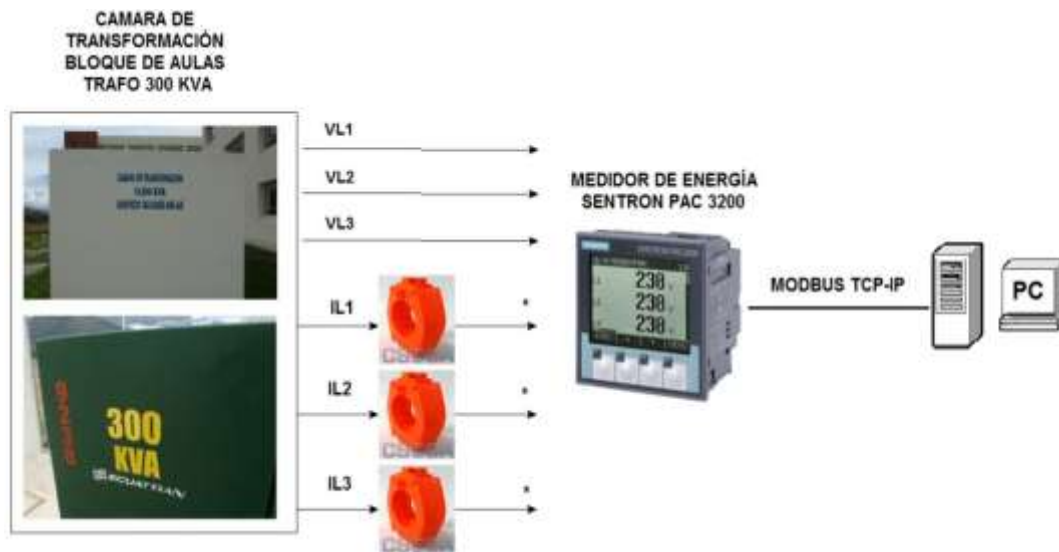


Figura 3.1: Elementos involucrados dentro del sistema de monitoreo de energía eléctrica.

Fuente: Autoría Propia

3.1.1. Implementación del SENTRON PAC 3200.

Dentro del capítulo de diseño se calcula la corriente que va a circular por cada línea del secundario del transformador que es de 788 A, como el medidor no puede ser conectado directamente a éste valor de corriente, se implementan transformadores de corriente con una relación de transformación de 800/5 A para la medición de las corrientes de línea.

La figura 3.2 a), b), muestran la implementación y conexión de los transformadores de intensidad en la salida del breaker principal el cual distribuye la energía para los diferentes bloques del edificio de aulas del campus.

Para la medición de voltajes se conectaron las 3 líneas directamente hacia el medidor ya que el voltaje entre líneas es de 220 VAC y el medidor puede soportar hasta 600 VAC conectándolo directamente, la figura 3.3 muestra la conexión de las líneas de voltaje y la alimentación del medidor.

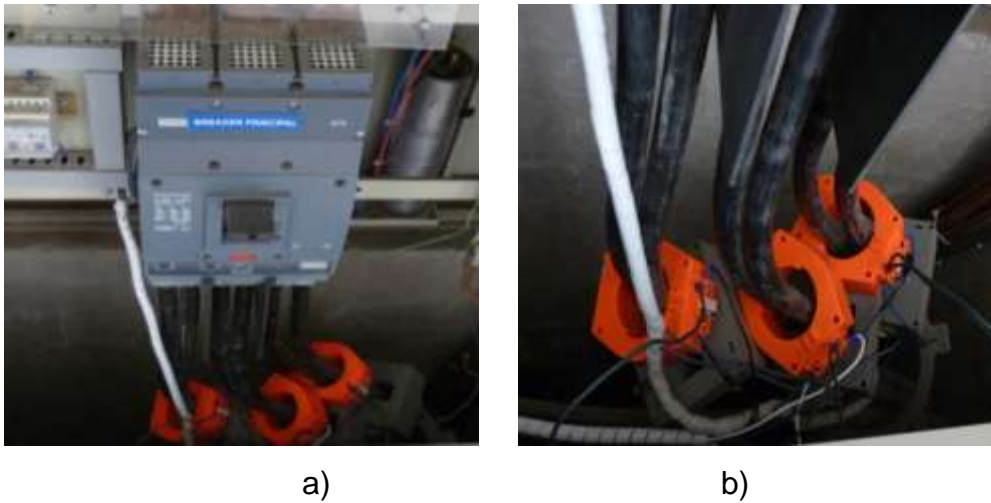


Figura 3.2: Implementación de los transformadores de corriente.

Fuente: Autoría Propia



Figura 3.3: Conexión del medidor de energía Sentron PAC 3200.

Fuente: Autoría Propia

Considerando la secuencia de fases a cada uno de los terminales del Sentron PAC, tomando en cuenta el tipo de conexión que el dispositivo puede adoptar mediante sus parámetros de configuración y de acuerdo al manual de operación, el tipo de conexión seleccionada es:

- Medición trifásica, cuatro conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente (3P4W).

En la figura 3.3 se muestra la conexión seleccionada para la implementación del Sentron PAC dicha conexión se puede encontrar dentro del manual de operación del medidor.

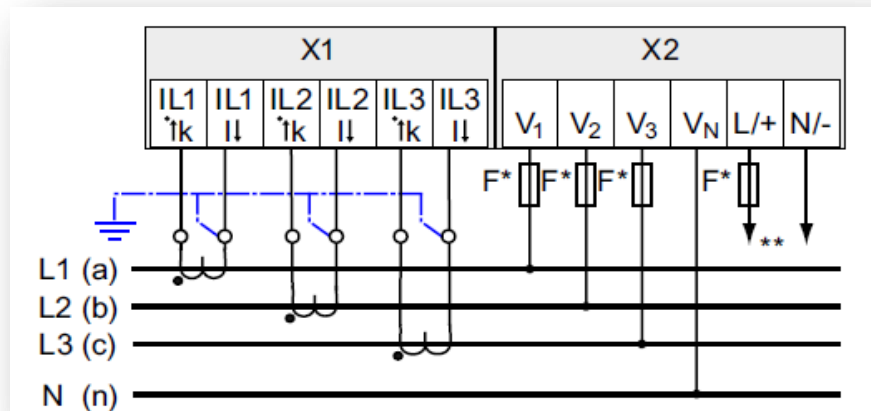


Figura 3.4: Tipo de conexión 3P4W.

Fuente: Manual SENTRON PAC 3200.pdf

El **ANEXO I** muestra el tipo de conexión recomendada por Siemens para una red de 230 a 400 VAC, tomando en cuenta el diseño de los transformadores de corriente que dependerán de la corriente que vaya a circular por cada una de las líneas.

En la figura 3.5 se puede observar al medidor de energía eléctrica Sentron PAC 3200 ya implementado en la sala de control o data center del campus Rodríguez – Lara.



Figura 3.5: Implementación del medidor de parámetros eléctricos.

Fuente: Autoría Propia

3.2. Configuración de parámetros técnicos del medidor Sentron PAC 3200

La configuración del medidor de energía eléctrica se lo puede realizar de dos maneras, mediante el software de configuración Sentron powerconfig que viene incluido con el equipo y la otra forma es manualmente mediante el teclado de navegación del medidor.

La diferencia entre las dos formas de configuración reside a que cuando se elige la opción de configurar mediante software necesariamente se debe conectar a una PC la cual lee y escribe los parámetros en el dispositivo, en cambio la ventaja cuando se decide programar manualmente es que se puede tener ya instalado el medidor y corregir los parámetros que sean necesarios de acuerdo a la red a la que esté monitoreando. En la figura 3.6 se muestra el software de configuración Sentron powerconfig, y los diferentes parámetros de configuración que son modificados de acuerdo a la necesidad de la red a la que se instale.

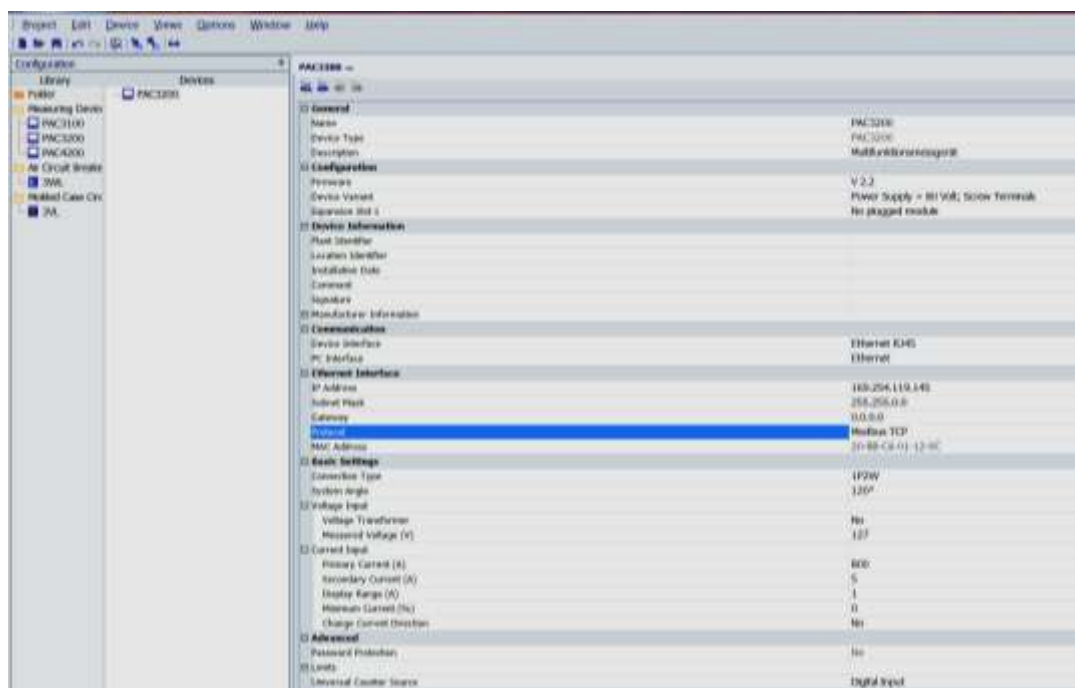


Figura 3.6: Configuración del Sentron pac mediante software.

Fuente: Autoría Propia

A continuación en la tabla 3.1 se muestran los parámetros técnicos básicos para la configuración del medidor de energía Sentron PAC 3200, estos parámetros pueden ser configurados mediante el software Sentron Powerconfig o mediante el teclado de navegación en el dispositivo directamente.

Tabla 3.1.- Parámetros de configuración Sentron PAC 3200

Comunicación	
Interfaz	Ethernet RJ45
Protocolo	Modbus TCP-IP
Dirección IP	192.168.3.255
Submascara de red	255.255.255.0
Gateway	192.168.1.1
Voltaje	
Transformadores de Tensión	No
Voltaje de medición	220 V

Tipo de Conexión	3P4W
Ángulo de Desfase entre voltajes	120 °
Corriente	
Transformadores de Intensidad	Si
Corriente del Primario	800 A
Corriente del secundario	5 A
Demanda de Potencia	
Modo de sincronización	Vía Bus
Periodo	1 minuto

Fuente: Autoría Propia

3.3. Implementación del sistema de monitoreo de consumo de agua.

El sistema de monitoreo del consumo de agua consta de dos subsistemas para comunicarse entre sí, los mismos que fueron implementados uno junto al tanque de agua y otro en la sala de control. La figura 3.7 muestra un diagrama de bloques del funcionamiento de dicho sistema.

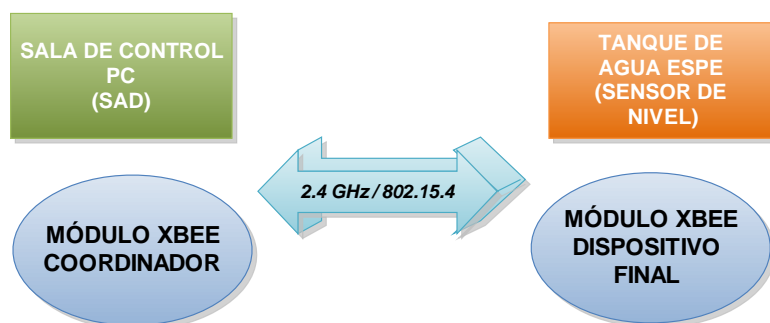


Figura 3.7: Diagrama de bloques de comunicación para el consumo de agua

Fuente: Autoría Propia

3.3.1. Implementación de los módulos coordinador y dispositivo final

En la figura 3.8 a) se muestra la implementación del módulo dispositivo final ubicado junto al tanque de agua y dentro del que constan los siguientes equipos:

- Sensor de Nivel Ultrasónico.
- Fuente de alimentación de 24 VDC.
- Divisor de Voltaje.
- Tarjeta de adquisición de datos Arduino.
- Alimentador de 9 VDC.
- Módulo Xbee PRO S2B dispositivo final.
- Antena RPSMA emisor.

En la figura 3.7 b) se muestra la implementación del sensor de nivel ultrasónico que mide el nivel de agua del tanque, el cual forma parte del módulo dispositivo final.



Figura 3.8: Módulo dispositivo final del sistema de monitoreo de consumo de agua

Fuente: Autoría Propia

Para la configuración del xbee que actúa como dispositivo final se utilizó el software X-CTU que ofertan los fabricantes de forma gratuita en su página web, en la figura 3.9 se muestra la configuración del xbee mediante X-CTU.

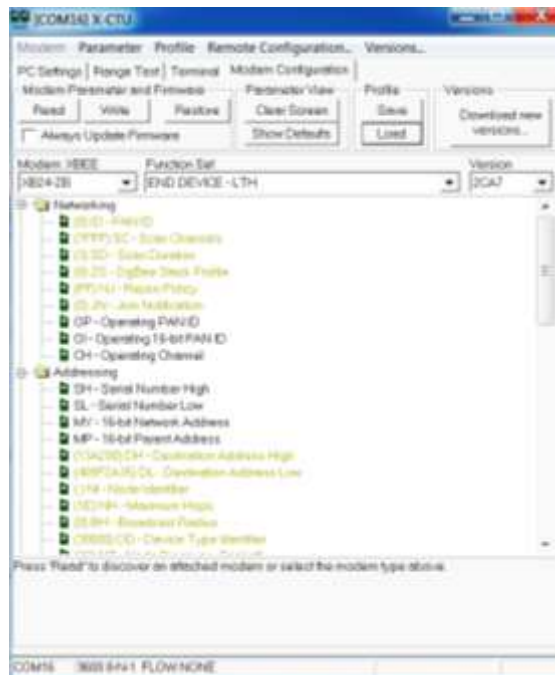


Figura 3.9: Programación del Xbee – dispositivo final

Fuente: Autoría Propia

A continuación se muestra una lista de los elementos involucrados en el módulo coordinador implementados para el sistema de monitoreo de consumo de agua, éste módulo es el que toma los datos enviados desde el módulo dispositivo final y los procesa mediante un sistema de adquisición de datos diseñado en el software LabVIEW y monitoreado mediante una PC, dentro de los dispositivos involucrados en éste sistema se encuentran:

- Programador Xbee.
- Módulo Xbee PRO S2B coordinador.
- Antena RPSMA receptor.
- Computador.

La figura 3.10 muestra el módulo coordinador implementado en la sala de control.



Figura 3.10: Módulo coordinador del sistema de monitoreo de consumo de agua

Fuente: Autoría Propia

Los principales parámetros de configuración de los dispositivos coordinador como dispositivo final, se encuentran detalladas en la tabla 3.2, en donde se ubican las direcciones de programación necesarias para la comunicación serial entre los dos dispositivos.

La programación del xbee coordinador en el software disponible en la web mediante la página Di Internacional, X-CTU se muestra en la figura 3.11.

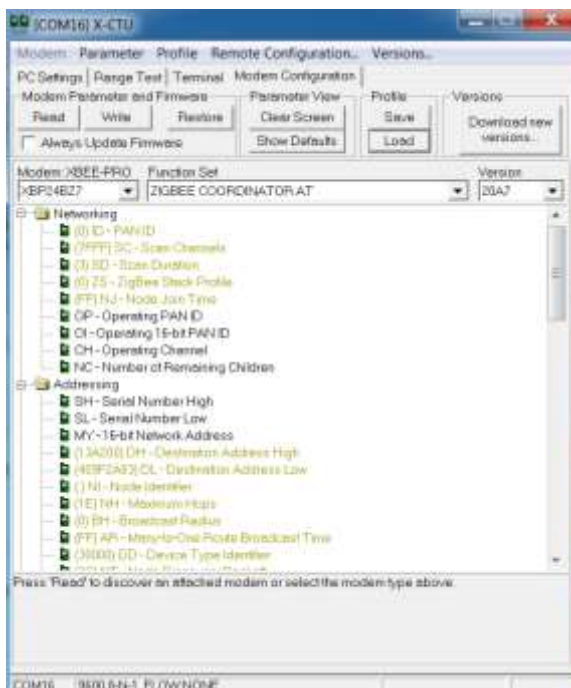


Figura 3.11: Programación del Xbee – coordinador

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.2.- Parámetros de programación de los dispositivos Xbee

XBEE PRO S2B	COORDIANDOR	DISPOSITIVO FINAL
PAN ID	0	0
DH	13A200	13A200
DL	409F2A83	409F2A35
Baud Rate	9600	9600

Fuente: Autoría Propia

3.3.2. Implementación de la Tarjeta de Adquisición de Datos Arduino

Para la adquisición de datos de nivel de agua del tanque se implementó una tarjeta Arduino, la misma que procesa la señal analógica de voltaje que entrega el sensor de nivel y la envía mediante comunicación serial hacia el módulo xbee dispositivo final, la señal analógica de 0 – 5 VDC que entrega el divisor de voltaje es convertida mediante el conversor análogo digital a un valor de 0 – 1023.

En la figura 3.12 se muestra el software de programación de la tarjeta de adquisición de datos Arduino.

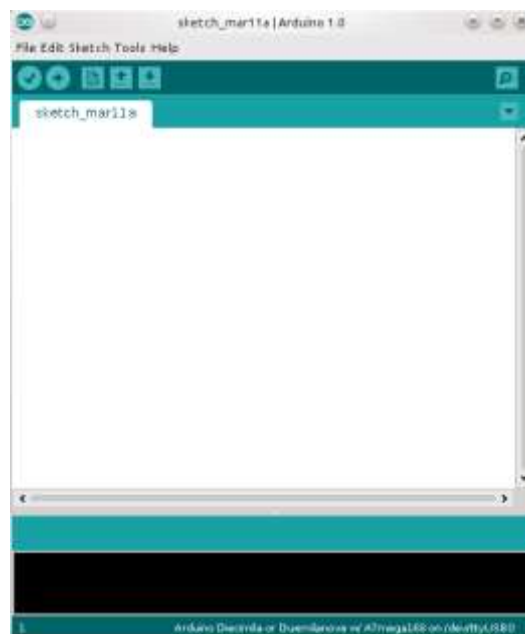


Figura 3.12: Software de programación Arduino

Fuente: Autoría Propia

El código de programación de la entrada analógica y la comunicación serial de la tarjeta Arduino se puede encontrar en el **ANEXO J**.

3.3.3. Implementación del sensor de Nivel Pepper Fucks UC6000

Para la toma de datos del nivel de agua del tanque del campus politécnico Rodríguez Lara – Espe extensión Latacunga, se implementó un sensor de nivel ultrasónico, el cual posee la capacidad de medir niveles de hasta 6 metros, el sensor dispone de una salida analógica programable ya sea a corriente o voltaje, para el proyecto se programó la salida analógica a voltaje, de acuerdo al nivel inferior o superior programado en el sensor la salida será de 0 – 10 VDC respectivamente.

En la figura 3.13 se muestra el sensor de nivel ultrasónico implementado en el tanque de agua del campus.



Figura 3.13: Implementación del sensor de nivel

Fuente: Autoría Propia

La programación del sensor de nivel se la realizó mediante el software ULTRA 300 incluido con el equipo, en la figura 3.14 se muestra el software utilizado en la programación del sensor.

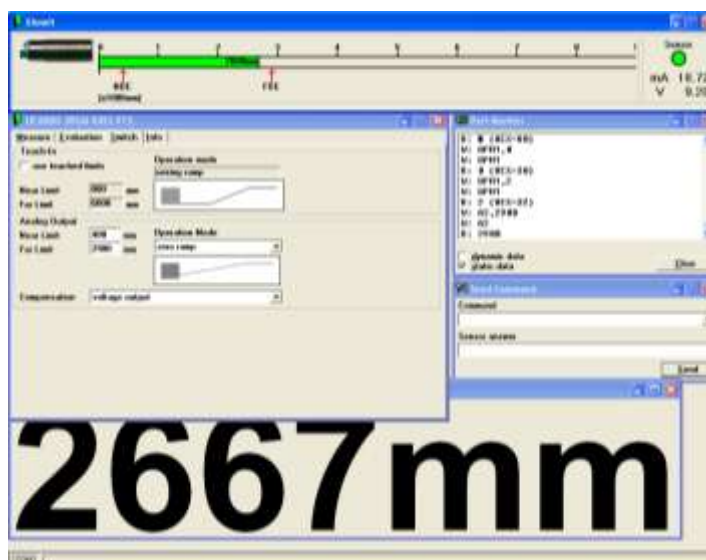


Figura 3.14: Software de programación Ultra 3000

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 3.3 se muestran los diferentes parámetros de programación del sensor, los mismos que cumplen con los requerimientos técnicos especificados en la tabla 2.4.

Tabla 3.3.- Parámetros de programación software Ultra 3000

Nivel Inferior	400 mm
Nivel Superior	2900 mm
Compensación / Salida Analógica	Voltaje 0-10 Vdc

Fuente: Autoría Propia

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez finalizado el capítulo de implementación de los diferentes equipos que integran el proyecto, en éste capítulo se proceden a realizar las diferentes pruebas de campo, en cada uno de los sistemas que intervienen dentro del mismo.

Dentro de éste capítulo se realiza un informe económico del costo de implementación de éste proyecto.

4.1. Pruebas de monitoreo de parámetros eléctricos.

Para contrastar las mediciones de los diferentes parámetros eléctricos, se obtienen datos del medidor PowerLogic PM710 instalado a la salida del transformador, los mismos que se contrastan con los datos adquiridos mediante el sistema de monitoreo de energía eléctrica diseñado en LabVIEW y adquiridos mediante el medidor Sentron PAC 3200.

El medidor PowerLogic se encuentra ubicado en el tablero de distribución del campus, el medidor Sentron PAC 3202 fue implementado en la sala de control del edificio central, por lo que las mediciones deben coincidir o tener un error no mayor al establecido según normas del fabricante.

En la figura 4.1 a) se muestra el medidor PowerLogic PM710 del cual se toman diferentes datos de parámetros eléctricos, para ser contrastados¹⁷ con los datos obtenidos del Sentron PAC 3200 el mismo que se muestra en la figura 4.1 b).

¹⁷ **Contrastar.**- Comprobar la exactitud, autenticidad o calidad de una cosa; generalmente se aplica a pesos y medidas, o a la ley de monedas y metales preciosos.



a)

b)

Figura 4.1: Medidores de Energía

Fuente: Autoría Propia

Los datos obtenidos de las mediciones se muestran en diferentes tablas, cada tabla consta de tres columnas las cuales indican los datos obtenidos por cada medidor y la variable medida. En la tabla 4.1 se muestran las mediciones de voltaje, obtenidas por los dos medidores

Tabla 4.1.- Contrastación de medidas de voltaje

	PowerLogic PM 710	Sentron PAC 3200 (LabVIEW)
Voltaje L1-N	120 V	120,5 V
Voltaje L2-N	120 V	120,3 V
Voltaje L3-N	120 V	119,8 V
Voltaje L1-2	207 V	207,2 V
Voltaje L2-3	207 V	207,6 V
Voltaje L3-1	207 V	206,8 V

Fuente: Autoría Propia

Según la precisión señalada para los valores de voltaje del medidor Sentron PAC 3200, el error de medición máximo es de $\pm 0,3 \%$, parámetro que se cumple con cada una de las mediciones realizadas.

En la tabla 4.2 se muestra la contrastación de los datos obtenidos de Potencia Activa en cada una de las tres líneas, datos obtenidos mediante los medidores mencionados anteriormente.

Tabla 4.2.- Contrastación de medidas de Potencia Activa

	PowerLogic PM 710	Sentron PAC 3200 (LabVIEW)
Potencia Activa L1 P (KW)	12 KW	12,2 KW
Potencia Activa L2 P (KW)	13 KW	13,1 KW
Potencia Activa L3 P (KW)	11 KW	11,4 KW

Fuente: Autoría Propia

Para valores de Potencia del medidor Sentron PAC 3200, el error de medición máximo debe ser $\pm 0,5 \%$, condición que se cumple con cada una de las mediciones realizadas.

En la tabla 4.3 se muestra la contrastación de los datos obtenidos de Potencia Aparente en las tres líneas, datos obtenidos mediante los medidores PowerLogic PM 710 y Sentron PAC 3200.

Tabla 4.3.- Contrastación de medidas de Potencia Aparente

	PowerLogic PM 710	Sentron PAC 3200 (LabVIEW)
Potencia Aparente L1 S (KVA)	13 KVA	13,78 KVA
Potencia Aparente L2 S (KVA)	13 KVA	13,43 KVA
Potencia Aparente L3 S (KVA)	12 KVA	12,69 KVA

Fuente: Autoría Propia

El error de medición máximo en Potencia Aparente de ser un $\pm 0,5 \%$, condición que se cumple con cada una de las mediciones realizadas.

La figura 4.4 muestra la contrastación de mediciones de corriente en las 3 líneas, frecuencia de la red, el error de medición relacionado a la corriente es de $\pm 0,2 \%$ y con respecto a la frecuencia de $\pm 0,05 \%$, condiciones que se cumplen con cada una de las mediciones.

Tabla 4.4.- Contrastación de medidas de corrientes de línea y frecuencia

	PowerLogic PM 710	Sentron PAC 3200 (LabVIEW)
Corriente L1	127 A	127,73 A
Corriente L2	127 A	128,52 A
Corriente L3	110 A	111,64 A
Frecuencia	60,00 Hz	59,98 Hz

Fuente: Autoría Propia

4.2. Pruebas del Sistema de Monitoreo de consumo en energía eléctrica mediante servicios web

La página web diseñada para monitorear el consumo de los recursos energéticos en el campus Rodríguez Lara, consta de un enlace a una base de datos MySQL, la cual almacena la información del consumo energético durante las 24 horas del día, dicha información es desplegada mediante un gráfico de barras.

La información almacenada en MySQL, debe coincidir con la información desplegada mediante el gráfico de barras de la página web.

La tabla 4.5 muestra la información de consumo de energía eléctrica consumida en el campus Rodríguez Lara, el día 26 de Mayo del 2014, fecha con la cual se realizó el análisis y contrastación de los datos con la gráfica en la página web.

Tabla 4.5.- Base de Datos consumo de energía eléctrica en KWh – 26/05/2014

FECHA	CONSUMO (KWh)	HORA
26/05/2014	13,91	0:26
26/05/2014	13,56	1:26
26/05/2014	13,59	2:26
26/05/2014	13,63	3:26
26/05/2014	13,48	4:26
26/05/2014	13,26	5:26
26/05/2014	10,50	6:26
26/05/2014	13,56	7:26
26/05/2014	31,07	8:26
26/05/2014	36,51	9:26
26/05/2014	37,12	10:26
26/05/2014	37,09	11:26
26/05/2014	38,20	12:26
26/05/2014	38,75	13:26

26/05/2014	35,93	14:26
26/05/2014	22,32	15:26
26/05/2014	14,46	16:26
26/05/2014	10,46	17:26
26/05/2014	9,07	18:26
26/05/2014	14,27	19:26
26/05/2014	14,71	20:26
26/05/2014	14,91	21:26
26/05/2014	14,89	22:26
26/05/2014	14,78	23:26

Fuente: Autoría Propia

En la figura 4.2 se muestra la gráfica de consumo en KWh del campus, datos obtenidos de la fecha 26/05/2014 y elaborada en Excel, el eje de las “X” representa el tiempo en el que se almacenaron los datos, y el eje “Y” el consumo de energía en KWh.

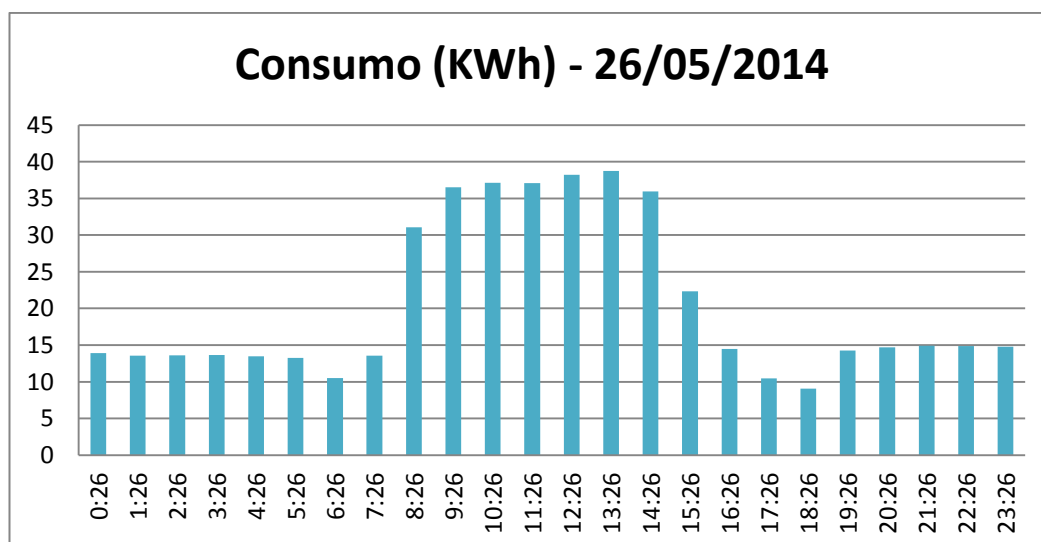


Figura 4.2: Gráfico de consumo de energía eléctrica en KWh

Fuente: Autoría Propia

En la figura 4.3 se muestra los datos de consumo de energía eléctrica, información desplegada mediante la página web diseñada para el monitoreo de energía eléctrica, éstos datos coinciden con los datos desplegados

mediante la gráfica de Excel mostrada en la figura 4.2, ya que la consulta se realiza a la misma base de datos.



Figura 4.3: Monitoreo de consumo en KWh mediante servicios web

Fuente: Autoría Propia

La gráfica desplegada mediante la página web tiene como objetivo conocer el consumo de energía a determinadas horas, lo cual servirá para posteriormente realizar campañas de concientización acerca de los recursos energéticos que se consumen en determinadas horas, y así poder obtener un ahorro energético, contribuyendo así a la disminución de emisiones de CO₂ al medio ambiente.

Se acota que los datos obtenidos actualmente de energía eléctrica en lo posterior se incrementarán, ya que por el momento en el campus no existen instaladas cargas de mucha potencia, motivo por el cual el transformador de distribución seleccionado no funciona a su potencia nominal.

4.3. Demanda de Potencia diaria en el campus Rodríguez Lara

Mediante los datos obtenidos desde la base de datos “consumo” y la tabla “electricidad” de MySQL de la fecha 26/05/2014, en la figura 4.4 se muestra la curva de demanda en potencia para el campus. La misma que es analizada para determinar el comportamiento de la carga instalada en el campus.

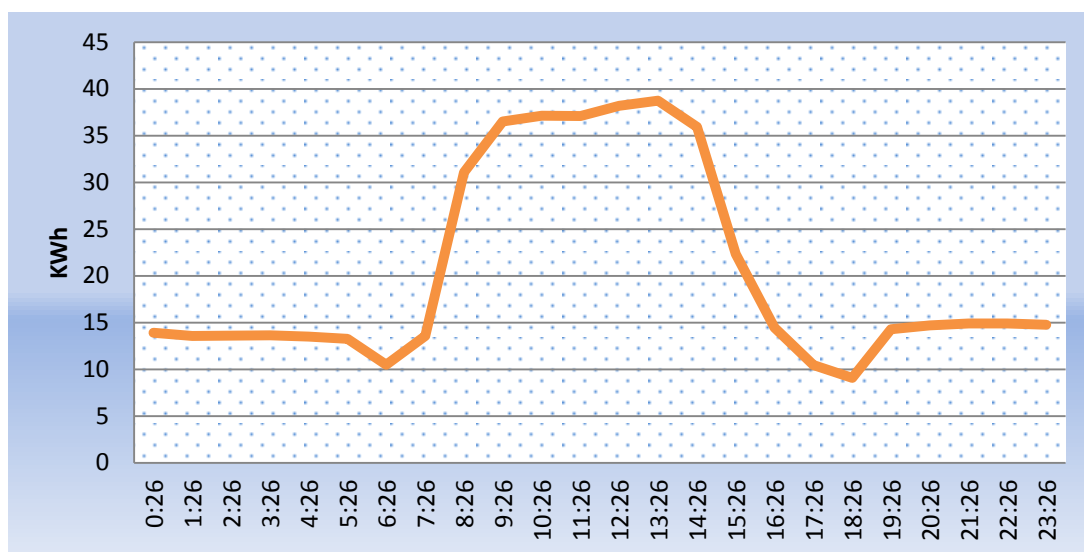


Figura 4.4: Curva de demanda de Potencia diaria en (KWh)

Fuente: Autoría Propia

Mediante la curva de la figura 4.4, se puede observar que en determinados intervalos de tiempo como (0:00-7:00 y 18:00-23:00), existe demanda mínima de energía lo que es justificable, ya que en dichos intervalos de tiempo no existen actividades en el campus por tanto existe poca carga en funcionamiento, en cambio se observa que el pico de demanda máxima se encuentra entre las 12:00 – 14:00 con un promedio de 38 KWh, en éste intervalo de tiempo el campus se encuentra en plena actividad, operando gran parte de la carga instalada.

La tabla 4.6 muestra los parámetros para la determinación de la demanda y el dimensionamiento del transformador instalado en el campus Rodríguez Lara, en ésta tabla se encuentran todos los servicios eléctricos que están y serán instalados, con los cuales el cuerpo de Ingenieros del Ejército dimensionaron el transformador con una capacidad nominal de 300 KVA, transformador que actualmente abastece al bloque de aulas.

Tabla 4.6.- Determinación de la demanda del edificio central del campus.

DETERMINACION DE LA DEMANDA			
NOMBRE DEL PROYECTO		ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO SEDE LATACUNGA NUCLEO CENTRAL	
PISO	PLANTA BAJA	TABLERO	TDP
REGLÓN	DESCRIPCION	CI (W)	DD (KVA)
1	Tablero TP-1	158996	92,67
2	Tablero TP-2	158996	92,67
3	Tablero TP-3	75064	35,44
4	Tablero TP-4	72464	34,29
5	Climatizacion (1)	52700	44,38
6	Climatizacion (2)	52700	44,38
7	Tablero TDR-CM	19200	16,88
8	Tablero TDP-R	184100	81,74
9	Ascensores	11190	8,95
TOTALES		785410	451,4
FD:	1,67		
DD (KVA):	313,87		
TRANSFORMADOR:	300 KVA		

Fuente: Estudio del sistema eléctrico por edificaciones de aulas - EV Ingeniería Eléctrica

En la tabla 4.7 se encuentran los datos de potencia promedio que actualmente necesita el campus Rodríguez Lara para su funcionamiento, al igual que la potencia nominal del transformador Podmounted seleccionado para abastecer al campus.

Tabla 4.7.- Demanda de potencia Vs potencia instalada

Potencia L1 (S)	13,7 KVA
Potencia L2 (S)	13,4 KVA
Potencia L3 (S)	12,7 KVA
(S) TOTAL	39.8 KVA
(S) Transformador	300 KVA

Fuente: Autoría Propia

Mediante el análisis de la tabla 4.7 se observa que la demanda existente en el campus actualmente es de 39.8 KVA que representa el 13.2 % de la capacidad instalada de (300 KVA) del transformador podmounted.

La demanda de potencia que actualmente existe en el campus Rodríguez Lara, es relativamente baja comparada con la potencia que puede abastecer el transformador, actualmente el proyecto de construcción del campus Rodríguez Lara se encuentra en la etapa I, es por ello que el transformador no se encuentra en funcionamiento a plena carga.

4.4. Pruebas del Sistema de Monitoreo de Agua en LabVIEW

El sistema de monitoreo de consumo de agua diseñado en LabVIEW, adquiere la información serial enviada a través de los dispositivos Xbee, el nivel de agua del tanque es transmitido mediante ésta vía de comunicación

inalámbrica, con ésta información realizamos una relación para poder obtener el nivel del agua en litros. En la figura 4.5 se muestra la interfaz en la cual indica el nivel del tanque, al igual que el indicador que muestra que el sistema se encuentra “consumiendo”.



Figura 4.5: Sistema de Monitoreo en Agua LabVIEW

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 4.8 se muestra los datos obtenidos en el momento que se realizaron las pruebas de campo, dentro de la tabla encontramos los valores de nivel, voltaje y dato serial.

Tabla 4.8.- Análisis de Resultados del sistema de monitoreo en agua

	Tanque de Agua	LabVIEW
Nivel de Agua	1.78	1.81
Voltaje	3.7	3.636
Dato serial	744	744

Fuente: Autoría Propia

Mediante la tabla 4.8 se puede observar que el sistema de medición del nivel del tanque tiene un error en la lectura que es bajo, dentro de la medición influyen directamente las variables ambientales, la distancia de transmisión, la confiabilidad de los Xbee y el lugar de medición en el que se encuentra instalado el sensor.

4.5. Pruebas del Sistema de Monitoreo de consumo en agua mediante servicios web

La página web diseñada para poder desplegar la información del consumo de agua en galones, realiza una consulta a la base de datos almacenada en MySQL los cuales se despliegan según el tiempo en el que se almacenaron los datos. En la tabla 4.9 se muestra la base de datos del día 15/05/2014 día en el cual se realizaron las pruebas

Tabla 4.9.- Base de datos del consumo de agua 15/05/2014

FECHA	CONSUMO	HORA
15/05/2014	133.869	15/05/2014 0:01
15/05/2014	100.402	15/05/2014 1:01
15/05/2014	130	15/05/2014 2:01
15/05/2014	100.402	15/05/2014 3:01
15/05/2014	133	15/05/2014 4:01
15/05/2014	150.68	15/05/2014 5:01
15/05/2014	0	15/05/2014 6:01
15/05/2014	736.28	15/05/2014 7:01
15/05/2014	267.738	15/05/2014 8:01
15/05/2014	234.271	15/05/2014 9:01
15/05/2014	401.607	15/05/2014 10:01
15/05/2014	435.074	15/05/2014 11:01
15/05/2014	535.476	15/05/2014 12:01
15/05/2014	400.2	15/05/2014 13:01
15/05/2014	321.68	15/05/2014 14:01
15/05/2014	334	15/05/2014 15:01
15/05/2014	267.738	15/05/2014 16:01
15/05/2014	0	15/05/2014 17:01
15/05/2014	0	15/05/2014 18:01

15/05/2014	0	15/05/2014 19:01
15/05/2014	336.98	15/05/2014 20:01
15/05/2014	0	15/05/2014 21:01
15/05/2014	334.673	15/05/2014 22:01
15/05/2014	669.345	15/05/2014 23:01

Fuente: Autoría Propia

En la figura 4.6 se muestra la gráfica del consumo de agua en galones del campus, datos obtenidos realizando una consulta a la base de datos de la tabla 4.9 con fecha 15/05/2014, la gráfica desplegada en la web consta con el eje “X” en el que se encuentra el tiempo en el que se almacenaron los datos, y en el eje “Y” el consumo de agua en Galones.

Cada ocasión en la que el puntero pase sobre la barra se mostrará el tiempo, la fecha y el valor del consumo en galones de agua, siendo mucho más amigable para todas las personas que se encuentren monitoreando el sistema.



Figura 4.6: Monitoreo del consumo en Agua mediante servicios web

Fuente: Autoría Propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES:

- El proyecto fue diseñado e implementado acorde al adelanto tecnológico desarrollado en países del extranjero, siendo un aporte hacia la innovación en sistemas de monitoreo energético en el Ecuador, fomentando el desarrollo de nuevas tecnologías en Universidades del país.
- Se diseñó e implementó un sistema de adquisición de datos entre el medidor de parámetros eléctricos SENTRON PAC 3200 y el software LabVIEW mediante un protocolo de comunicación industrial Modbus, ya que dicha comunicación es libre sin necesidad de utilizar un servidor OPC de intermediario.
- Los parámetros eléctricos visualizados mediante el software de adquisición de datos diseñado e implementado en labVIEW, no tienen error de precisión en la medición, lo cual es beneficioso ya que nos indica el valor exacto al indicado en el medidor en tiempo real.
- Se diseñó e implementó un sistema de comunicación inalámbrico punto a punto mediante el protocolo ZigBee 802.15.4 para transmitir la información del consumo de agua desde el tanque hacia el Sistema de Adquisición de datos, solucionando el problema de la distancia para la adquisición de datos.
- Se implementó una red de comunicación ZigBee coordinador – dispositivo final, mediante dos Xbee PRO S2B los cuales intercambian información obtenida del sensor de nivel ultrasónico, mediante una comunicación serial a una distancia aproximada de 900 metros.

- Se diseñó e implementó un sistema de monitoreo de variables eléctricas y de consumo de agua mediante LabVIEW, la interfaz HMI es amigable para el usuario y el personal técnico autorizado que podrá acceder al control y monitoreo de estos sistemas.
- Se diseñó una página web amigable para el monitoreo de consumo de agua y energía eléctrica, que servirá para que toda la comunidad politécnica tenga acceso a la información en Kilovatios hora y en galones respectivamente.
- Se diseñó e implementó una base de datos de históricos en MySQL con información del consumo energético en el campus Rodríguez Lara, información que se puede descargar mediante la página web implementada, siendo ésta base de datos una herramienta para en lo posterior realizar campañas de concientización acerca del uso racional de la energía.
- El proyecto fue elaborado mediante una profunda investigación acorde a las nuevas tecnologías desarrolladas en países energéticamente desarrollados, contribuyendo a la investigación en evolución de la red eléctrica hacia una red inteligente en el Ecuador.
- En lo posterior con proyectos similares se podrá realizar sofisticados análisis de los patrones de consumo, con diferentes fuentes de energía dentro de los cuales pueden estar involucrados recursos: eólico, solar, térmicos, etc, éstas fuentes podrían ser tomadas a través de los proyectos de grado relacionados con fuentes energías renovables, y a la vez pueden ser acopladas al sistema de monitoreo energético desarrollado.

5.2. RECOMENDACIONES:

- Realizar una lectura previa del manual de comunicación para el medidor de parámetros eléctricos, en el cual se encuentra cada uno de los registros Modbus TCP para que no exista inconvenientes al momento de comunicarse con el Sistema de adquisición de datos.
- Es necesario realizar la conexión de transformadores de corriente o TC's previamente dimensionados para poder medir las corrientes que circulan por cada una de las líneas ya que el medidor Sentron PAC 3200 no es un medidor de conexión directa.
- Tomar en cuenta el voltaje de alimentación de los módulos Xbee PRO S2B para su correcto funcionamiento y así evitar una.
- Dimensionar las antenas RPSMA adecuadas para tener la suficiente ganancia al momento de transmitir los datos entre los módulos Xbee y así evitar la pérdida de información.
- Para el buen funcionamiento de la base de datos en MySQL y la librería HighCharts utilizada para el reporte de los datos en la web, se debe tener conexión a una red local la cual debe estar enlazada a internet, ya que el lenguaje de programación de la librería es mediante J-query, que necesariamente debe utilizar una conexión a internet.
- Se recomienda utilizar Mozilla Firefox para acceder a la página web ya que con otros navegadores los gadgets pueden deformar la apariencia de la misma.

BIBLIOGRAFÍA Y NETGRAFÍA:

- [1] J. R. Miñarro, **Proyecto Newton**, ITE Gobierno de España, 26 Junio 2006. [En línea]. En:
http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/index.html.
- [2] Escuela de Negocios (EOI) y Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, Manual de eficiencia energética, **Manual de eficiencia energética.pdf**, p. 329, 2008.
- [3] IES Cristóbal de Monroy Dpto. de Tecnología, **Energía Eléctrica - Tecnología Industrial**.
- [4] D. F. L. M. Poli, Nuevas Energías Renovables: **Una alternativa sustentable para México**, Agosto 2004. [En línea]. En:
http://xml.cie.unam.mx/xml/se/pe/NUEVAS_ENERG_RENOV.pdf.
- [5] Gobierno de Aragón Departamento de Medio Ambiente, **Manual de Ahorro y Eficiencia Energética en el Hogar**, Actúa con energía frente al cambio climático , pp. 6,7, 2010.
- [6] Observatorio de políticas públicas de los derechos humanos en el MERCOSUR, **Distribución del Agua en el Mundo**, [En línea]. En:
<http://www.redes.org.uy/download/consumoresponsable/Distribucion%20del%20agua%20en%20el%20mundo.pdf>.
- [7] J. Serra, **Eficiencia Energética Eléctrica**, CIRCUITOR MAGAZINE, p. 6, 2007.
- [8] C. A. D. Andrade, **Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica - Estado del Arte**, Smart Grid, pp. 70-72, 2011.
- [9] F. C. T. d. España, **Smarts Grids y la evolución de la red eléctrica**, pp. 14-16, 2011.
- [10] **Redes Industriales Protocolo Modbus**, 2004. [En línea]. En:
<http://www.icicm.com/files/RedesIndustrialesModBus.doc>.
- [11] J. V. Correa, **Diseño e implementación de una red industrial bajo protocolo modbus que permita la comunicación digital con**

instrumentos de campo, Repositorio Institucional de la Corporación Universitaria Rafael Nuñez, 2013.

- [12] **Desarrollo en Java de un sistema de acceso remoto a Modbus. Implementación Web y Java del sistema para CP2003**, [En línea]. En: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/48568f26f3e8f.pdf>.
- [13] J. V. Rebaza, **El Estándar Inalámbrico ZigBee**, 2007. [En línea]. En: <http://es.scribd.com/doc/51196305/ZigBee>.
- [14] V. Ibarra, **Diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos de 4 canales analógicos de entrada basado en un PIC 16F877**, Hidalgo: Universidad Autónoma de la Universidad de Hidalgo, 2007.
- [15] **Conceptos y funcionamiento básico de un Sistema de Adquisición de Datos**, [En línea]. En: <http://www.ramarecords.com/eop/Tarjeta.pdf>.
- [16] H. A. Mendiburu, **Instrumentación Virtual Industrial**, Perú: Henry Antonio Díaz Mendiburu, 2006.
- [17] M. Chuck, **HTML & XHTML: The Definitive Guide**. O'Reilly 1ª Edición. Musciano.
- [18] A. C. Arriaga, **Sistema para el Análisis y Control de los niveles de Productividad de Rosas, Sangolquí**: Facultad de Sistemas en Informática ESPE, Mayo 2006.
- [19] R. Orfali, **Cliente/Servidor Guia de Supervivencia**, México: McGraw-Hill, 1997.
- [20] SIEMENS, **Manual de producto Multímetro SENTRON PAC 3200**, 2008.
- [21] Digi International, **XBee 802.15.4 Conectividad de dispositivos mediante redes inalámbricas multipunto**, [En línea]. En: <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/point-multipoint-rfmodules/xbee-series1-module#overview>.

- [22] A. Oyarce, **XBEE Series 1 Guía del Usuario**, Santiago de Chile: Ingeniería MCI LTDA, 2010.
- [23] Arduino Web Sites, **Arduino Home-Page por el A-Team**, [En línea].
En: <http://www.arduino.cc/es/>.

ANEXOS

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: Oscar Raúl Rodríguez Chacón bajo mi supervisión:

ING. DIEGO ORTIZ
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. DAVID RIVAS
CODIRECTOR DEL PROYECTO

ING. WILSON SÁNCHEZ
DIRECTOR DE CARRERA

DR. RODRIGO VACA CORRALES
SECRETARIO ACADÉMICO