



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA
PARA EL CONTROL DE CARGA Y EL MONITOREO DE LA ENERGÍA
ELÉCTRICA OBTENIDA POR UN GENERADOR HIBRIDO (EÓLICO-
SOLAR), EN EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE
ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE EXTENSIÓN LATAACUNGA.**

AUTORES: CHERREZ GUAYTA, HENRY MARCELO

GALABAY GUALOTUÑA, RICARDO VINICIO

DIRECTOR: ING. JIMÉNEZ LEÓN, MARIO POLIBIO

LATAACUNGA

2018



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE CARGA Y EL MONITOREO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDA POR UN GENERADOR HIBRIDO (EÓLICO-SOLAR), EN EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” realizado por los señores **CHERREZ GUAYTA, HENRY MARCELO Y GALABAY GUALOTUÑA, RICARDO VINICIO** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **CHERREZ GUAYTA, HENRY MARCELO Y GALABAY GUALOTUÑA, RICARDO VINICIO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 30 de noviembre del 2018

Ing. Jiménez León, Mario Polibio

C.C. 0501519326



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **CHERREZ GUAYTA, HENRY MARCELO Y GALABAY GUALOTUÑA, RICARDO VINICIO**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE CARGA Y EL MONITOREO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDA POR UN GENERADOR HIBRIDO (EÓLICO-SOLAR), EN EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 30 de noviembre del 2018

CHERREZ GUAYTA, HENRY MARCELO
C.C. 1804528600

GALABAY GUALOTUÑA, RICARDO VINICIO
C.C. 1723045348



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **CHERREZ GUAYTA, HENRY MARCELO** Y **GALABAY GUALOTUÑA, RICARDO VINICIO** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE CARGA Y EL MONITOREO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDA POR UN GENERADOR HIBRIDO (EÓLICO-SOLAR), EN EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 30 de noviembre del 2018

CHERREZ GUAYTA, HENRY MARCELO
C.C. 1804528600

GALABAY GUALOTUÑA, RICARDO VINICIO
C.C. 1723045348

Dedicatorias

Este Proyecto de Titulación lo quiero dedicar a Dios por darme la sabiduría para alcanza uno de mis objetivos gracias a su infinito amor y bondad, a mis padres y hermano por ser el pilar fundamental en la construcción de mi vida profesional que con su ejemplo fomentaron en mí, valores como la responsabilidad lo que me ha llevado a culminar con éxito mis estudios. A Paola por brindarme su apoyo incondicional y darme valor para siempre seguir adelante.

Henry

Quiero dedicar el presente proyecto Dios, a mis padres Segundo Galabay y Martha Gualotuña, que con su ejemplo me han enseñado a nunca rendirme y dar lo mejor de mí, a mi hermana Sofia mi “manita” y mi cuñado Ángelo quienes me regalaron las más grandes bendiciones en mi vida que son mis sobrinos Rafael y Anna Shofia.

Ricardo

Agradecimientos

Agradezco a Dios por guiarme y darme la sabiduría para tomar buenas decisiones. A mis padres Leonardo e Inés por haberme apoyado a lo largo de todo este camino con esfuerzo y responsabilidad, lo que me inspira a seguir superándome cada día. A la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE por abrirme sus puertas y permitirme sumar conocimientos para utilizarlos en bien de la sociedad. Al Ing Mario Jiménez por su tiempo dedicado al presente trabajo de titulación brindándome la ayuda necesaria para llevar a cabo este proyecto.

Henry

Primero agradezco a Dios quien nunca permitió que perdiera mi fe, a mi padre Segundo quien gracias a su esfuerzo permitió que logre esta meta, a mi madre Machilu quien nunca me dejó de apoyar aun cuando encontramos dificultades en el camino y con su bendición siempre me cuidó. Gracias también a mi hermana a mi cuñado y a mis sobrinos por todo su amor y apoyo, así como a todos mis familiares que de alguna manera siempre aportaron su granito durante mis estudios, gracias también a Elizabeth que con su amor me apoyó.

Al Ing. Mario Jiménez que nos brindó sus conocimientos y su ayuda para completar este proyecto siendo más que un profesor un gran amigo y Henry por su confianza y por la dedicación en este proyecto, muchas gracias lo logramos.

Ricardo

ÍNDICE

Certificado de Verificación de contenido.....	.ii
Certificado de Autoría de responsabilidad.....	iii
Certificado de Autorizaci.....	iv

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
----------------------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
-------------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
------------------------------	-------------

Resumen.....	xviii
---------------------	--------------

Abstract.....	xix
----------------------	------------

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMÁTICA.....	1
1.1	Planteamiento del problema.....	1
1.2	Antecedentes.....	1
1.3	Justificación e importancia.....	3
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	Objetivo general.....	4
1.4.2	Objetivos específicos.....	4

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1.	Energía renovable.....	5
2.2.	Micro generación distribuida.....	6
2.3.	Energía en corriente directa (DC).....	7
2.4.	Sistemas fotovoltaicos.....	7
2.4.1.	Sistemas fotovoltaicos aislados.....	8

2.4.2.	Sistemas fotovoltaicos conectados a red	9
2.5.	Sistemas eólicos para la producción de electricidad	10
2.5.1.	Partes básicas de un sistema eólico	11
2.5.2.	Ventajas de un sistema eólico.....	12
2.5.3.	Desventajas de un sistema eólico	13
2.6.	Medidores inteligentes de energía eléctrica	13
2.7.	Medidor de velocidad del viento	15
2.7.1.	Medición de irradiancia solar	17
2.8.	Sistemas SCADA	19
2.8.1.	Necesidades de un sistema SCADA	19
2.8.2.	Funciones correspondientes a un sistema Scada	20
2.8.3.	Sistema SCADA en la medición de energía eléctrica.....	20
2.9.	Controlador lógico programable (PLC).....	22
2.9.1.	Estructura de un PLC	23
2.10.	Plc Simatic S7 – 1200	24
2.11.	Módulos de comunicación	26
2.12.	Step 7 Basic	27
2.13.	Redes de comunicación	28
2.14.	Pirámide de automatización	29
2.15.	Buses de campo.....	30
2.15.1.	Ventajas de los buses de campo.....	30
2.15.2.	Desventajas de los buses de campo.....	31
2.16.	Redes de comunicación PROFIBUS.....	31
2.16.1.	Funcionamiento del PROFIBUS.....	32

2.16.2. Profibus – DP	32
2.16.3. Topología de la red PROFIBUS	32
2.16.4. Transmisión de datos PROFIBUS – DP	33
2.16.5. Elementos de una red PROFIBUS - DP	34
2.17. Hipótesis	35
2.17.1. Variables de investigación	35

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA	38
3.1 Antecedentes investigativos	38
3.2 Modalidad de la investigación	40
3.3 Tipos de investigación	40
3.3.1. Investigación bibliográfica	40
3.3.2. Investigación de método inductivo	41
3.3.3. Investigación experimental	41
3.3.4. Diseño de la investigación	41
3.4. Niveles de la investigación	42
3.4.1. Exploratoria	42
3.4.2. Descriptiva	42
3.4.3. Investigación explicativa	42
3.4.4. Población y muestra	43
3.5. Técnicas de recolección de datos	44
3.5.1. Observación de laboratorio	44
3.5.2. Instrumentos de medición	44
3.5.3. Técnica de análisis de datos	44

3.5.4.	Técnicas de comprobación de hipótesis	45
--------	---	----

CAPÍTULO IV

4	ANÁLISIS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	46
4.1	Análisis de resultados.....	46
4.1.1	Sistema Híbrido de generación implementado.....	46
4.1.2	Medición de variables eléctricas en el sistema híbrido	46
4.1.3	Medición de la velocidad del viento.....	47
4.1.4	Control de datos.....	48
4.5	Comprobación de hipótesis	49
4.5.1	Planteamiento de hipótesis	49
4.5.1.1	Viabilidad del proyecto	49

CAPITULO V

5	Tema de la propuesta.....	50
5.1	Datos informativos.....	50
5.1.1	Beneficiarios.....	50
5.2	Objetivos	50
5.2.1	Objetivo general	51
5.2.2	Objetivos específicos	51
5.3	Justificación de la propuesta	51
5.4	Fundamentación propuesta.....	52
5.5	Diseño de la propuesta.....	52
5.5.1	Resumen.....	52
5.5.2	Arquitectura del proyecto	54
5.6	Criterios de selección de equipos.....	54

5.6.1	Selección del medidor de energía para los paneles fotovoltaicos.....	54
5.6.2	Selección del medidor de energía para el generador eólico	60
5.6.3	Selección del medidor de energía para la carga eléctrica.....	64
5.7	Selección del controlador para el sistema	67
5.7.1	Implementación del controlador en el sistema	69
5.7.2	Implementación del módulo de comunicación RS-485 Siemens.....	70
5.8	Selección del medidor de irradiancia solar	71
5.8.1	Especificaciones técnicas de sensores de irradiación solar.....	71
5.8.2	Análisis de la elección	71
5.8.3	Implementación del piranómetro SP-110	72
5.8.4	Acondicionamiento de señal para el sensor SP 110	72
5.9	Selección del medidor de velocidad del viento	73
5.9.1	Características técnicas de medidores de velocidad del viento	73
5.9.2	Análisis de la elección	74
5.9.3	Implementación del medidor de velocidad del viento LSYS.....	74
5.10	Metodología para ejecutar la propuesta del proyecto.....	74
5.10.1	Diseño del sistema SCADA.....	74
5.10.2	Configuración Medidor de energía ACU-DC 240	75
5.10.3	Configuración medidor de energía Panasonic KW9M.....	77
5.10.4	Configuración del medidor de energía SENTRON PAC-3100	78
5.11	Configuración de los equipos que conforman el sistema SCADA en el software TIA PORTAL V14.....	79
5.11.1	Configuración del PLC para la adquisición de datos del sistema.....	79
5.11.2	Configuración del PC-System-HMI	83

5.12	Programación de los equipos que conforman el sistema SCADA utilizando el software TIA PORTAL V14	86
5.12.1	Programación para adquisición de datos de los medidores de Energía ..	86
5.12.2	Programación para el cálculo de Potencia teórica de los generadores....	91
5.12.3	Programación para el cálculo del rendimiento de los generadores	92
5.12.4	Programación del control de carga en el sistema	93
5.13	Diseño y programación de la Interfaz del sistema SCADA mediante el software TIA PORTAL V14.....	95
5.13.1	Diseño de las pantallas del HMI Pc System.....	95
5.13.1.a	Jerarquía de las pantallas en el HMI-Pc System.....	95
5.13.2	Programación del HMI PC-System	97
5.13.2.a	Creación y configuración de las imágenes	97
5.13.3	Diseño de controles para el HMI	99
5.13.3.a	Programación de curvas de potencia y energía	99
5.13.4	Diseño y programación de avisos en el HMI	99
5.13.5	Creación de la base de datos en formato .cvs	101
5.13.5.a	Diseño y programación de la base de datos mediante un Script.....	101
5.14	Pruebas de funcionamiento de los equipos de medición.....	102
5.15	Análisis del balance energético	106
5.15.1	Análisis del rendimiento del generador híbrido	106
5.15.1.a	Rendimiento del generador eólico.....	106
5.15.1.b	Rendimiento del generador fotovoltaico	107
5.15.2	Balance de energía en el sistema	108
5.15.2.a	Energía real generada.....	108
5.15.2.b	Energía teórica del sistema	111

5.15.2.c Eficiencia energética del sistema	114
5.16 CONCLUSIONES.....	114
5.17 RECOMENDACIONES	116
5.18 BIBLIOGRAFIA:.....	¡Error! Marcador no definido.7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Energía renovable	5
Figura 2: Sistema fotovoltaico aislado	8
Figura 3: Sistema fotovoltaico conectado a red	9
Figura 4: Generador eólico	11
Figura 5: Partes básicas de un generador eólico	12
Figura 6: Anemómetro	16
Figura 7: Piranómetro	17
Figura 8: Radiación vs longitud de onda	18
Figura 9: Estructura de un PLC	23
Figura 10: Partes de un PLC S7-1200	25
Figura 11: Módulo de comunicación RS-485	27
Figura 12: Software Step 7	28
Figura 13: Pirámide de automatización	29
Figura 14: Redes de comunicación PROFIBUS	31
Figura 15: Topología red PROFIBUS	32
Figura 16: Red PROFIBUS	33
Figura 17: Elementos de una red Profibus-DP	35
Figura 18: Frecuencia de variación del viento en la prueba realizada	48
Figura 19: Arquitectura del proyecto	54
Figura 20: Medidor de energía ACU-DC 240	58
Figura 21: Convertidor Corriente-Voltaje	59
Figura 22: Medidor de energía panasonic KW9M	63
Figura 23: Medidor de energía SENTRON PAC-3100	66
Figura 24: PLC Siemens S7-1200	70
Figura 25: Módulo de comunicación 485 Siemens	70
Figura 26: Amplificador de voltaje	72
Figura 27: Flujo grama del sistema Scada	75
Figura 28: Funciones del medidor de energía KW9M	77

Figura 29: Interfaz de Configuración SENTRON PAC-3100.....	78
Figura 30: Creación de un nuevo proyecto.....	79
Figura 31: Elección de la CPU del PLC.....	80
Figura 32: Detección automática del PLC.....	80
Figura 33: Búsqueda del PLC.....	81
Figura 34: Detección del módulo de comunicación.....	81
Figura 35: Activación de marcas del sistema.....	82
Figura 36: Configuración del módulo RS-485.....	82
Figura 37: Configuración de la IP.....	83
Figura 38: Activación de la IP.....	83
Figura 39: Configuración de tarjeta de comunicación.....	84
Figura 40: Configuración WinCC Advanced.....	84
Figura 41: Configuración Red de comunicación.....	85
Figura 42: Dirección IP del PLC.....	85
Figura 43: Unión de red PROFIBUS.....	86
Figura 44: Bloque de comunicación MB_COMM_LOAD.....	86
Figura 45: Bloque de comunicación MB_MASTER.....	88
Figura 46: Configuración del bloque de datos.....	89
Figura 47: Variables ordenadas en el bloque de datos.....	90
Figura 48: Bloque de programación MOVE.....	90
Figura 49: Normalizado y Escalado de velocidad del viento.....	91
Figura 50: Normalizado y escalado de Irradiancia Solar.....	92
Figura 51: Cálculo de rendimiento del generador eólico.....	93
Figura 52: Cálculo del rendimiento del generador fotovoltaico.....	93
Figura 53: Bloques de programación para determinar el tiempo.....	93
Figura 54: Separación de variables de tiempo.....	94
Figura 55: Bloques de Programación para el control de carga.....	94
Figura 56: Jerarquía de pantallas en el HMI.....	96
Figura 57: Configuración del Runtime para las imágenes.....	98
Figura 58: Configuración de imágenes del HMI.....	98

Figura 59: Configuración del control de curvas del HMI	99
Figura 60: Lista de avisos analógicos.....	100
Figura 61: Configuración del visor de avisos	101
Figura 62: Programación del Script para la exportación de datos	102
Figura 63: Comunicación de los equipos de medición con el PLC	102
Figura 64: Prueba de extracción de datos del sistema	103
Figura 65: Medición de voltajes en el generador eólico.....	103
Figura 66: Medición de corrientes en el Generador eólico	104
Figura 67: Medición de Frecuencia en el Generador eólico	104
Figura 68: Medición de voltaje en los paneles fotovoltaicos	105
Figura 69: Medición de corriente en los paneles fotovoltaicos	105
Figura 70: Potencia generada y consumida en función del tiempo	109
Figura 71: Potencia generada y consumida en horario programado	109
Figura 72: Potencia teórica generador eólico	112
Figura 73: Potencia teórica generador fotovoltaico	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características técnicas PLC S7-1200	26
Tabla 2 Características de transmisión de datos mediante red Serial RS-485	34
Tabla 3 Operacionalización de variable independiente.....	36
Tabla 4 Operacionalización de variable dependiente	37
Tabla 5 Preguntas básicas para la solución de problemas.....	43
Tabla 6 Medición y comparación de variables en el generador híbrido	47
Tabla 7 Requerimientos del sistema.....	48
Tabla 8 Medidores de energía DC.....	55
Tabla 9 Características técnicas ACU-DC 240	56
Tabla 10 Sensores de corriente.....	58
Tabla 11 Deep Switches transductor Seneca T201	59
Tabla 12 Características técnicas convertidor corriente-voltaje	60
Tabla 13 Características técnicas medidores de energía AC	60
Tabla 14 Características técnicas medidore panasonic KW9M-A.....	61
Tabla 15 Transformadores de corriente para AC.....	63
Tabla 16 Características técnicas medidores de energía AC	64
Tabla 17 Características técnicas SENTRON PAC-3100	65
Tabla 18 Transformadores de Corriente para la Carga eléctrica	67
Tabla 19 Controladores Industriales	68
Tabla 20 Características técnicas PLC S7-1200	69
Tabla 21 Especificaciones medidores de radiación solar	71
Tabla 22 Características de medidores de velocidad del viento	73
Tabla 23 Parámetros base ACU-DC 240.....	76
Tabla 24 Parámetros de configuración MB_COMM_LOAD	87
Tabla 25 Parámetros de configuración MB_MASTER.....	88
Tabla 26 Características de las imágenes en el HMI.....	96
Tabla 27 Datos generador híbrido	106
Tabla 28 Energía del sistema híbrido	110
Tabla 29 Energía consumida por la carga eléctrica.....	110
Tabla 30 Comparación de energía en el sistema	111

Resumen

El presente trabajo de titulación se basa en la implementación de un sistema SCADA para monitorear y controlar un sistema de generación Híbrido (Eólico-Solar), aprovechando una de las tecnologías actuales como es el uso de medidores de energía inteligentes, un PLC que permite extraer las variables físicas como irradiancia solar, velocidad del viento, desde un pirómetro y anemómetro respectivamente, y variables eléctricas como voltaje, Corriente, Potencia, Energía, Factor de Potencia, frecuencia en tiempo real por medio de un protocolo de comunicación 485 Modbus RTU, visualizando todo el sistema en una pantalla amigable con el usuario. El sistema permite exportar todas las variables a una base de datos en formato .csv, compatible con Microsoft Excel, éstos datos se utilizan para determinar la eficiencia y el rendimiento del sistema, además el Scada permite visualizar alarmas y descargar su informe en formato pdf para su análisis correspondiente.

PALABRAS CLAVE:

- **SISTEMA SCADA**
- **GENERADOR EÓLICO-SOLAR**
- **PROTOCOLO**
- **MODBUS RS 485**
- **MEDIDORES DE ENERGIA**
- **ENERGÍAS RENOVABLES**

Abstract

This project is based on the implementation of a SCADA system to monitor and control a hybrid generation system (Wind-Solar), taking advantage of one of the current technologies such as the use of intelligent energy meters, a PLC that allows to extract physical variables such as solar irradiance, wind speed, from a pyrometer and anemometer respectively, and electrical variables such as voltage, Current, Power, Energy, Power Factor, frequency in real time by means of a 485 Modbus RTU communication protocol, displaying the whole system on a user-friendly screen. The system allows exporting all variables to a database in .csv format, compatible with Microsoft Excel, these data are used to determine the efficiency and performance of the system, the Scada also allows you to view alarms and download its report in pdf format for analysis.

KEYWORDS:

- **SCADA SYSTEM**
- **WIND-SOLAR GENERATOR**
- **PROTOCOL**
- **MODBUS RS 485**
- **ENERGY METERS**
- **RENEWABLE ENERGY**

CAPÍTULO I

1. PROBLEMÁTICA

1.1 Planteamiento del problema

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga se caracteriza por ser líder en la gestión del conocimiento y tecnología, la misma que cuenta con laboratorios especializados en cada área de conocimiento, como es el caso del laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía, dónde se ha implementado un sistema de generación Híbrido (Eólico-Solar). El problema radica en que no existe un sistema para cuantificar la energía que produce el generador y la energía que consume la carga eléctrica, así como para monitorear en tiempo real las variables físicas como velocidad del viento e irradiancia solar, siendo magnitudes importantes para determinar el comportamiento de cada uno de los generadores.

Al no existir un sistema de monitoreo, los estudiantes que se forman en el área de Fuentes Alternativas de Energía no pueden realizar prácticas de laboratorio referidas a éste tema, lo que produce un déficit de conocimientos en éste tipo de tecnologías, por lo que el proyecto de investigación busca solucionar éste tipo de problemas, controlando la carga eléctrica, monitoreando la producción y consumo de energía eléctrica obtenida en tiempo real mediante un sistema Scada para generadores Híbridos.

1.2 Antecedentes

Para la elaboración del presente proyecto de investigación, se tomará en cuenta fundamentados basados en la implementación de un sistema Scada para el control de carga y el monitoreo de la energía eléctrica obtenida por un por un generador híbrido (eólico-solar), en el laboratorio de fuentes alternativas de energía de la Universidad de

las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga, tomando como referencia estudios realizados anteriormente.

Para el primer antecedente citaremos a (Montalvo & Cabezas, 2011), el cual manifiesta que Un sistema SCADA tiene como objetivo dentro del área de automatización, supervisar constantemente un sistema, el cual es manejado de forma remota, con la facilidad de tener acceso a la programación del PLC para que de esa forma se envíe y se reciba señales del sistema automatizado teniendo la opción de visualización en una pantalla HMI dónde se podrá observar en tiempo real lo que está sucediendo en todo el sistema implementado.

El autor (Cornejo, 2011) en su publicación a cerca de la implementación de una plataforma SCADA para sistemas de electrificación, manifiesta que los sistemas SCADA son ampliamente utilizados en el monitoreo de sistemas eléctricos, de tal forma que el sistema puede operar de manera eficiente, aprovechando todos los subsistemas incorporados como puede ser medidores de consumo inteligentes o dispositivos dedicados al control de la demanda de cada usuario que son instrumentos de alta gama que ayudan a que un sistema eléctrico siempre trabaje en óptimas condiciones teniendo acceso a visualizar todo el proceso mediante el sistema SCADA, el cual también es apto para implementarse en diferentes procesos como plantas químicas, minería, generación y transporte, es decir siempre que haya un sistema de control incorporado en un sistema.

(Stracuzzi, 2014), en su publicación, manifiesta que éste tipo de sistemas utilizan programas de computadoras, los cuales permiten supervisar cualquier tipo de proceso sin tener que estar presentes permanentemente en él, y se basan en la obtención de datos durante su funcionamiento para que internamente se pueda verificar el estado del proceso buscando siempre mejoras y ayudando a la toma de decisiones por parte del personal en el tema de mantenimiento y compra de nuevos equipos que ayuden a mantener el sistema en óptimas condiciones.

El autor (Pólit, 2005) en su publicación Diseño de un Controlador de carga para un sistema fotovoltaico, menciona que al implementar un sistema fotovoltaico aislado es necesario monitorear permanentemente su producción de energía mediante sistemas SCADA, sobre todo en aquellos lugares que se encuentran demasiado alejados de la red pública, para poder controlar la demanda de energía de cada usuario facilitando la toma de decisiones en cuanto al cierre o apertura de los circuitos dependiendo del nivel de carga de las baterías del sistema.

(Schlechtingen, 2013) en su publicación Wind turbine condition monitoring based on SCADA data using normal behavior models. Part 1: System description, menciona que los sistemas SCADA ayudan a realizar mantenimiento predictivo en aerogeneradores utilizando datos obtenidos del sistema, y comparándolos con los datos operativos nominales, utilizando diferentes variables para determinar el funcionamiento como temperaturas, corrientes o presiones, aplicando métodos de análisis de señales los cuales pueden detectar cambios en el comportamiento de una turbina eólica y tomar medidas correctivas para mantener el sistema estable.

1.3 Justificación e importancia

El sistema por implementar permitirá controlar la carga y monitorear en tiempo real la cantidad de energía que produce un sistema de generación híbrido de acuerdo con la velocidad del viento para el caso del aerogenerador y del nivel de radiación solar para el caso de paneles fotovoltaicos, permitiendo así realizar un análisis energético adecuado para el sistema.

Dentro de los objetivos que tiene la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se encuentra la formación integral de profesionales de excelencia con enfoque investigativo, capaces de solucionar problemas y mejorar el entorno en el que se desarrollen, es por eso por lo que el presente proyecto mejorará el sistema de

generación híbrido existente en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE incorporando el Sistema Scada.

El proyecto podrá ser utilizado también como medio de aprendizaje para los estudiantes de Ingeniería que se están formando en el área de Energías Renovables en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, siendo de gran ayuda para la instrucción de los alumnos en este campo, ya que este tipo de energía está desarrollándose a gran escala en todo el mundo y es necesario que los estudiantes conozcan sobre la operación de este tipo de sistemas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema Scada para el control de carga y la medición de energía eléctrica producida por parte de un generador híbrido en el Laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema Scada que permita realizar mediciones de la energía eléctrica y controlar la carga del generador híbrido.
- Implementar el sistema Scada, utilizando un controlador lógico programable y realizar pruebas de funcionamiento.
- Realizar el análisis energético del sistema con los datos obtenidos de las pruebas realizadas.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Energía renovable

En todo el mundo, la energía renovable ha alcanzado un alto nivel de importancia debido a que la mayor parte de energía para la producción de electricidad son de naturaleza intermitente, pero es una tarea difícil el implementar sistemas de energía renovable a gran escala para que se unan a la red eléctrica convencional, donde el flujo energético de este tipo de sistemas inicia en las plantas centralizadas y se dirige directamente a los consumidores. A diferencia de las grandes centrales de generación como Hidroeléctricas, las plantas de energía renovable son más pequeñas por lo que se instala de forma distribuida dependiendo del entorno en el que se encuentren (Yu, 2011).

La figura 1, representa un generador Híbrido conformado por paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas para la producción de energía eléctrica limpia.



Figura 1. Energía Renovable

Fuente: (ERNC, 2017)

Al integrar un sistema de energía renovable en una red eléctrica convencional, tiene una modificación en la operación del sistema lo cual es necesario incorporar una nueva

infraestructura de la red, por lo que significa que es un gran impulso para el desarrollo de las redes inteligentes, modernizando así la infraestructura y supervisando de manera permanente el sistema. Éste tipo de sistemas con redes inteligentes protege y optimiza el funcionamiento de sus elementos con flujo bidireccional de energía e información para crear una red de suministro de energía automatizada y distribuida (Yu, 2011).

Gracias a la tecnología, la energía renovable se ha ido desarrollando en todo el mundo, siendo China el país con mayor número de proyectos relacionados con éste tipo de energía, también en Ecuador se han desarrollado proyectos de energía renovable distribuida y a consecuencia de ello se manejan plataformas de monitoreo con el objetivo de centralizar todos los procesos enviando y recibiendo datos para lograr un control del proceso en forma remota, como en las islas Galápagos que poseen energía eólica y fotovoltaica siendo el 14,97% de energía total producida (MEER, 2016).

2.2. Micro generación distribuida

Aunque la mayor parte de generación de electricidad se la realiza por grandes centrales hidroeléctricas o centrales térmicas a gran escala, utilizando líneas de transmisión para distribuir la energía a alto voltaje, para posteriormente bajar su voltaje para la distribución hacia los usuarios, pero éste tipo de sistemas presenta algunos problemas como pérdidas de energía a lo largo de las líneas de transmisión y en los transformadores elevadores y reductores, dando como resultado calor desperdiciado durante la producción y transmisión de energía eléctrica (Muñoz, 2018).

Sin embargo, existen proyectos de producción eléctrica en forma local, es decir cerca de su punto de consumo por medio de fuentes alternativas de energía como son los sistemas solares térmicos y las micro turbinas eólicas. La producción de energía en forma distribuida puede abarcar diferentes maneras de producir electricidad con una variedad de tamaños de generadores, desde el nivel de casas individuales hasta generadores que

abarquen una toda una comunidad proporcionando energía limpia sin emisiones de CO₂ al ambiente (Muñoz, 2018).

La micro producción de electricidad se refiere a la generación a pequeña escala de calor o electricidad a partir de fuentes bajas en carbono, además se ha definido que la micro generación está por debajo de los 10 MW. La capacidad instalada a nivel mundial alcanzó un crecimiento de 227 GW de potencia, siendo la mayor parte de instalaciones enfocadas en la producción de energía mediante paneles solares y generadores eólicos (Muñoz, 2018).

2.3. Energía en corriente directa (DC)

El aprovechamiento de la energía del medio ambiente es un nuevo reto para el mundo, en particular la energía del sol se ha convertido en una fuente inagotable, la cual es posible obtenerla por medio de paneles solares, siendo una fuente de energía variable en el tiempo dependiendo del nivel de radiación solar, por lo que es necesario almacenar dicha energía en baterías. Cada componente de un sistema Fotovoltaico tiene diferentes características por lo que es necesario adaptarlos con requisitos energéticos del mismo tipo obteniendo un sistema eficiente (Raghunathan, 2005).

Cada panel solar se compone de varias celdas solares, las cuales generan aproximadamente 0.6V cada una, y se unen en serie para formar paneles solares de 12V o 24 V proporcionando energía en corriente continua, directamente para el consumo o para almacenarse en baterías. Los sistemas fotovoltaicos tienen la capacidad de convertir su señal mediante inversores para obtener energía en corriente alterna, derivándose así en dos tipos de sistemas; sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a red.

2.4. Sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos se utilizan cada vez más en tecnologías de energía eléctrica. Los principales inconvenientes de la energía fotovoltaica son de alto costo de

fabricación y baja conversión de energía, en parte debido a su comportamiento no lineal y dependiente de la temperatura. Este tipo de sistemas tienen una baja eficiencia eléctrica debido a que se generan variaciones de corriente y voltaje dependiendo del nivel de radiación solar al que se encuentren. Para mejorar el rendimiento existen sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar, los cuales alinean los paneles siempre en dirección al sol dependiendo de su posición obteniendo así mejores características de rendimiento en cuanto a potencia eléctrica generada (Masoum, 2002).

2.4.1. Sistemas fotovoltaicos aislados

En la actualidad existen alternativas para solucionar problemas referentes a la falta de energía sobre todo en las zonas rurales donde las redes eléctricas están lejos del punto de consumo, como son el uso de sistemas autónomos de energía solar fotovoltaica como se muestra en la figura 2. Este tipo de sistemas son mucho más amigables con el planeta al no contaminar el medio ambiente, permitiendo dejar de utilizar los generadores a diésel, reduciendo los costos de generación al no tener la necesidad de utilizar combustible, además los sistemas fotovoltaicos autónomos permiten incorporar equipos de monitoreo remoto reduciendo los costos de operación y mantenimiento, teniendo la capacidad de determinar el balance energético diario a través de plataformas de monitoreo como son los sistemas Scada (Ma, Yang, & Lu, 2013).

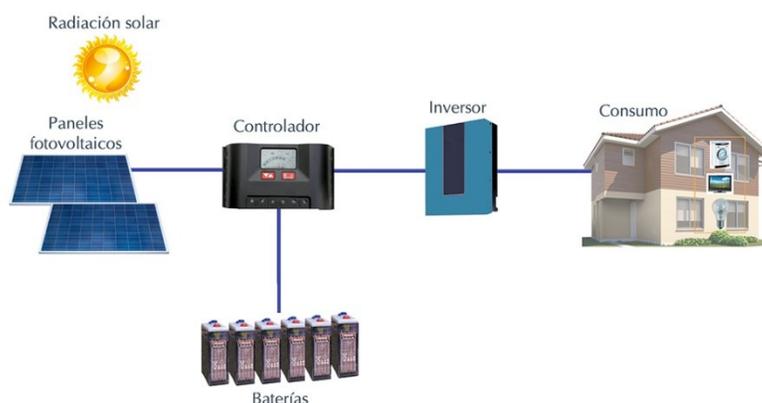


Figura 2. Sistema Fotovoltaico Aislado

Fuente: (Bester, 2016)

Un sistema fotovoltaico aislado se compone de varios paneles solares que se encargan de receptor la energía proveniente del sol, con un rendimiento promedio de 20%, que se conectan a un inversor convirtiendo la energía en corriente directa a energía en corriente alterna para el consumo de equipos o electrodomésticos que se conecten al sistema. Un sistema fotovoltaico autónomo puede tener diferentes tipos de inversores dependiendo de la aplicación, además se utiliza bancos de baterías para poder almacenar la energía, las cuales tienen dos modos de funcionamiento: modo de carga y modo de descarga, dónde durante la etapa de carga la energía llega directamente desde los paneles solares DC, y en la etapa de descarga la energía pasa por el inversor CA con una salida de 127V o 220V a una frecuencia de 60 Hz (Ma et al., 2013).

2.4.2. Sistemas fotovoltaicos conectados a red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red constituyen una buena opción para generación de energía eléctrica contribuyendo significativamente al utilizar una fuente de energía inagotable como es el sol, actualmente se han desarrollado tecnologías que ayudan a mejorar el rendimiento de éste tipo de sistemas lo que hace que mientras pasa el tiempo se vaya reduciendo el costo de implementación. Este tipo de sistemas tienen un rendimiento mayor a los sistemas fotovoltaicos aislados, así en un panel solar su eficiencia varía de 20% a 45%. Este tipo de sistema se representa en la figura 3 (Román & Alonso, 2006).

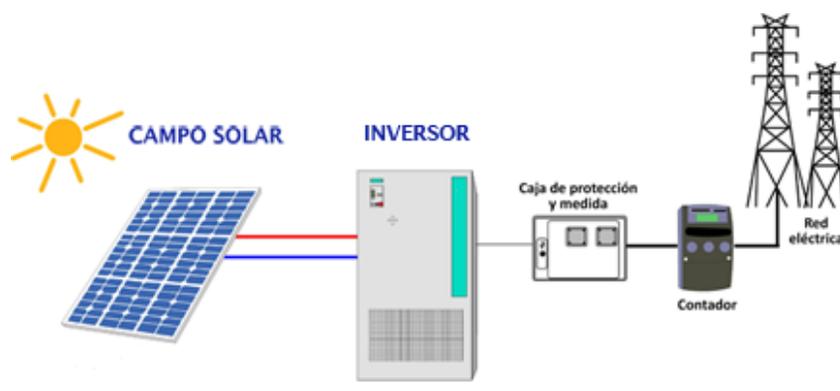


Figura 3. Sistema Fotovoltaico Conectado a Red

Fuente:(Sopelia, 2016)

Para una instalación fotovoltaica es necesario tomar en consideración el número de paneles que se conectaran al inversor, siendo de 20 a 30 paneles de 150W el número ideal, es decir se utilizará un inversor por cada 5KW de potencia generada para obtener un mejor rendimiento del sistema, sin embargo existen instalaciones fotovoltaicas con un inversor para cada panel, siendo una buena opción pero su costo de implementación también es elevado (Román & Alonso, 2006).

2.5. Sistemas eólicos para la producción de electricidad

En la actualidad los sistemas eólicos se han convertido en una parte importante para la producción de energía eléctrica, siendo amigables con el ambiente y en especial los sistemas eólicos pequeños pueden contribuir de una manera significativa a las necesidades de un pueblo, sobre todo si el acceso a la red pública es difícil, y es aquí donde intervienen las turbinas eólicas las cuales son suficientemente grandes como se representa en la figura 4, para producir energía eléctrica y abastecer a una familia promedio. Antes de realizar la instalación de una turbina eólica es necesario tomar en consideración los siguientes aspectos: El lugar en el que se va a instalar debe poseer suficiente viento como para mover la turbina y de ese modo es necesario realizar estudios meteorológicos con el fin de hallar lugares potencialmente aptos para generación de electricidad por medio de turbinas eólicas (Departamento de Energía, 2007).

Otro aspecto que hay que tomar en cuenta es el espacio para la instalación y la viabilidad económica del usuario, de otro modo no será posible su instalación. Los sistemas eólicos poseen una buena relación costo/beneficio por lo que al instalar una turbina eólica en los hogares, se verá reflejado en la reducción entre el 50 y el 90% en las planillas de energía eléctrica, además de ser un sistema que no requiere de mantenimiento constante o de una persona que opere el sistema, siendo de fácil instalación en sitios remotos (Departamento de Energía, 2007).



Figura 4. Generador Eólico

Fuente: (Twenergy, 2011)

El tamaño de la turbina eólica depende del uso al que esté destinado, por lo que en el mercado se puede encontrar turbinas pequeñas entre 20W y 100 kW, pero también existen turbinas mucho más pequeñas llamadas “Micro”, que se encuentran en un rango menor a los 20 W, utilizadas para carga de baterías en vehículos y veleros. Las turbinas entre 1 kW y 10 kW se pueden hacer uso para el bombeo de agua o para la molienda de granos como se realizaba en tiempos antiguos, aunque en la actualidad el uso de las turbinas eólicas se ha centrado en la producción de energía eléctrica (Departamento de Energía, 2007).

2.5.1. Partes básicas de un sistema eólico

Este tipo de sistemas por lo general se compone de rotor, generador, veleta, torre, cableado. El generador eólico puede ser de eje horizontal o de eje vertical, pero las más comunes son las de eje horizontal con tres álabes como se puede observar en la figura 5, que por lo general están fabricados por fibra de vidrio y la cantidad de energía producida está relacionada con el diámetro del rotor llamada “área de barrido” y también por la velocidad del viento que haga mover a los álabes. La estructura debe estar montada en una torre debido a que a más altura, la velocidad del viento es mayor y se pueden generar turbulencias, permitiendo aprovechar de mejor manera el recurso eólico (Departamento de Energía, 2007).

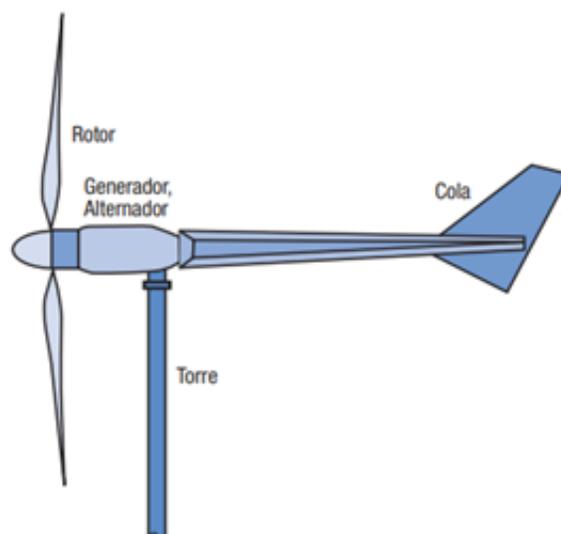


Figura 5. Partes básicas de un Generador Eólico

Fuente:(Departamento deEnergía, 2007)

Es importante tomar en cuenta la inversión realizada al instalar una torre de mayor altura, de ésta forma una torre más alta puede generar más energía que una torre baja, pero eso origina un costo de instalación más elevado, es por eso que hay que tomar en cuenta lo siguiente: la diferencia que se origina al instalar una turbina a una altura de 100 pies en lugar de instalar a 60 pies, puede incrementar el costo de instalación en un 10%, pero la generación de energía eléctrica aumenta en un 25%, es por eso que éste tipo de sistemas manejan un buen costo/beneficio (Departamento de Energía, 2007).

2.5.2. Ventajas de un sistema eólico

Un sistema eólico utilizado para la producción de energía eléctrica tiene muchas ventajas tanto para los consumidores como para los proveedores del servicio, es decir para quienes implementan el sistema, como las siguientes:

- Excelente relación costo/beneficio
- La energía eólica no contamina el medio ambiente
- Es una fuente de energía Inagotable
- Disminuye el uso de combustibles fósiles

- No origina productos secundarios que puedan afectar el ambiente
- Reduce emisiones de CO₂ al ambiente
- Al Finalizar su vida útil, el desmantelamiento no deja huellas

2.5.3. Desventajas de un sistema eólico

A pesar que existen muchas ventajas al instalar un sistema eólico, también hay desventajas como las que se menciona a continuación:

- Incapacidad para controlar la velocidad del viento
- Al ser variable el viento, no puede utilizarse como una única fuente de generación de energía
- No es posible almacenar la energía a menos que se utilice un banco de baterías
- Vulnerabilidad a los huecos de tensión
- Necesidad de infraestructuras y elevado costo de transporte de energía en el caso de implementar un sistema eólico offshore
- En el caso de una elevada velocidad del viento es necesario bloquear la turbina eólica

2.6. Medidores inteligentes de energía eléctrica

El medidor inteligente es un medidor de energía avanzado capaz de obtener mediciones de consumo al mismo tiempo que tiene la capacidad de proporcionar información adicional con otros parámetros de medición, lo que hace que sea diferente al medidor de energía tradicional. Existen diferentes tipos de medidores de energía, los cuales pueden emitir datos en tiempo real como valores de tensión, corriente, ángulo de fase, frecuencia, etc. Muchos medidores de energía inteligentes pueden medir en forma bidireccional, es decir tienen la capacidad de medir la energía suministrada por la red y también la energía que aporta a la red eléctrica. Un sistema de contadores inteligentes

tiene infraestructura de comunicación que permiten subir la información a una plataforma Scada (Depuru, Wang, & Devabhaktuni, 2011).

Los medidores de energía inteligentes pueden ser utilizados dentro de un sistema eléctrico para monitorear y también para controlar a los otros dispositivos que lo componen, recibiendo información constantemente a cerca del estado de la red eléctrica. En la parte de distribución de energía se puede obtener datos del funcionamiento de electrodomésticos y comunicarse con otros medidores inteligentes aledaños. Pueden medir el consumo de electricidad de la red, soportar fuentes de generación descentralizadas y dispositivos de almacenamiento de energía. Los datos recogidos por los contadores inteligentes son una combinación de parámetros tales como el identificador único del contador, la marca de tiempo de los datos y los valores de consumo de electricidad (Depuru et al., 2011).

Los medidores de energía cada vez van evolucionando, en respuesta a la demanda tecnológica de las redes inteligentes, por lo que existe mucha competitividad en el mercado para lograr un mayor desarrollo en ésta área de conocimiento. Éste desarrollo de las redes inteligentes hace que los elementos que lo conformen utilicen velocidades binarias mucho más altas, garantizando flexibilidad y que los elementos sean robustos. En comparación con los medidores de energía tradicionales, los medidores de energía actuales tienen una gama de funciones inteligentes como respuesta a la demanda del usuario, conexión y desconexión remota de energía, seguridad de la red eléctrica y reducción de las interrupciones no técnicas (Depuru et al., 2011).

Los medidores de energía actuales tienen la facilidad de activar o desactivar salidas que pueden utilizarse para la apertura o cierre de los circuitos a los que se encuentren conectados. Este tipo de dispositivos son parte importante para las redes eléctricas, los cuales ayudan a optimizar sistemas gestionando la red en forma eficaz (Arif, 2013).

2.7. Medidor de velocidad del viento

La velocidad del viento se puede medir con un instrumento llamado anemómetro, el mismo que se encarga de captar algunas o todas las componentes del viento, por lo que éste instrumento es capaz de captar desde una suave brisa hasta vientos mucho más fuertes respondiendo de manera rápida a los cambios originados. Algunos instrumentos de éste tipo vienen con una veleta incorporada para determinar la dirección del viento, siendo éstas dos magnitudes elementos importantes para estudios meteorológicos con el fin de instalaciones eólicas (Renom, 2011) .

La Fuerza del viento en (N) viene dada por la ecuación 1:

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho A V^2 \quad (1)$$

Donde:

- C_d = Coeficiente de arrastre, que es función de la forma del dispositivo y de la velocidad del viento que en este caso $0 < C_d \leq 1$.
- A = Sección de área del dispositivo en m^2
- V = Velocidad del viento en m/s
- ρ = Densidad del viento en kg/m^3

Mediante ésta fórmula se puede determinar la fuerza con la que choca el viento con un objeto dependiendo de la velocidad a la que se encuentre (Renom, 2011).

El anemómetro más común y utilizado en la industria es el de cazoletas, mostrado en la figura 6, el cual posee un diseño de una parte hueca la misma que hace posible transformar la energía mecánica con la que choca el viento en energía de rotación, transformándolo en una señal analógica o digital teniendo una respuesta lineal en casi todo el rango de medición. Hoy en día éste tipo de dispositivos tienen la capacidad de comunicarse con un controlador por medio de una interfaz como RS 485 (Renom, 2011).



Figura 6. Anemómetro

Fuente: (Direct, 2016)

En la actualidad con el avance tecnológico, se ha venido desarrollando nuevos instrumentos con mayor capacidad y mayor rango de medición con el objetivo de proteger la maquinaria y mejorar la calidad en un proceso, dado que, al no tener la medición de variables físicas, puede afectar gravemente al desarrollo del proceso y aumentando el riesgo de daño de los equipos o elementos. Para la correcta elección del tipo de dispositivo de medición es necesario considerar el ambiente al que va a exponerse el instrumento y los rangos de medición que se requiere, con el propósito de proteger los equipos y proyectar una larga vida útil sin tener la necesidad de realizar mantenimiento en cortos espacios de tiempo (Creus, 2007).

Cuando hablamos de un equipo de medición es necesario tomar en cuenta su tipo, es decir si es un sensor activo o es un sensor pasivo. Un sensor Activo es aquel que no requiere ningún tipo de alimentación para su funcionamiento y la señal que envía por lo general es voltaje o corriente, es decir crea una variación de voltaje al aumentar a disminuir la magnitud de la variable medida, en cambio los sensores de tipo pasivo son aquellos que requieren alimentación para su funcionamiento, es decir necesitan estar conectados a una fuente de poder. Es necesario tomar en cuenta el tipo de sensor de acuerdo a la necesidad de un proceso (Creus, 2007).

2.7.1. Medición de irradiancia solar

La radiación que proviene del sol se distribuye en distintas longitudes de onda, siendo la mayor parte entre 0.2 y 0.3 μm . La banda visible se encuentra entre 0.69 y 0.77 μm , lo demás corresponde por completo a la radiación infrarroja teniendo una pequeña parte de radiación ultravioleta. La radiación Solar es posible medir por medio de instrumentos dedicados a éste objetivo como son los radiómetros y existen de varios tipos dependiendo del tipo de radiación y el rango de medición (D. Pérez, 2015).

La radiación Global es posible medir sobre una superficie horizontal mediante un instrumento llamado piranómetro, el mismo que se representa en la figura 7. La mayor parte de éstos instrumentos emiten la medición de acuerdo a la variación de temperaturas entre dos superficies, una negra y otra blanca encerradas en una carcasa de vidrio, pero otro tipo de piranómetros no poseen la carcasa de vidrio y emiten su medición generando un pequeño voltaje proporcional a la variación de radiación (D. Pérez, 2015).



Figura 7. Piranómetro

Fuente: (Sensovant, 2017)

En la figura 8, se muestra la longitud de onda respecto a la variación de radiación solar.

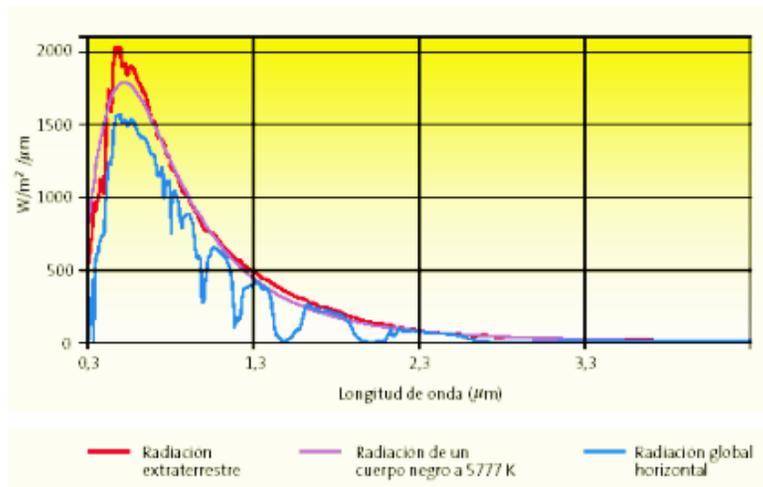


Figura 8. Radiación vs Longitud de onda

Fuente: (D. Pérez, 2015)

El término radiación se utiliza en modo convencional, pero aquella energía que incide en una superficie por unidad de área, en un determinado tiempo se llama Irradiancia (I) y sus unidades de medida son W/m^2 . La energía que incide sobre una superficie por unidad de área en un determinado tiempo se denomina irradiación (H) y se representa mediante la ecuación 2 (D. Pérez, 2015).

$$H = \int I(t) dt \quad (2)$$

H = Irradiación

I = Irradiancia

Así la irradiancia es la potencia instantánea correspondiente a la radiación, mientras que la irradiación es aquella energía que se genera en un determinado tiempo, y dependiendo de la aplicación y la necesidad de medición será necesario elegir el instrumento adecuado. Es necesario tomar en cuenta que existen tres tipos de radiación: directa, difusa y reflejada. La radiación directa como su nombre lo indica es aquella que proviene del sol directamente, radiación difusa es en la que intervienen las nubes antes de chocar con una superficie, y la radiación reflejada choca con el suelo y se refleja hacia la superficie que interactúa con el medio (D. Pérez, 2015).

2.8. Sistemas SCADA

SCADA por sus siglas en inglés Supervisory Control and Data Acquisition, es un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos. Éste tipo de sistemas utiliza aplicaciones de software con el objetivo de controlar y supervisar cualquier tipo de proceso a distancia. Los sistemas SCADA se basan en la adquisición de información de un proceso en forma remota y su arquitectura está diseñada para funcionar en una plataforma sobre cualquier tipo de computador, además proporciona comunicación con los dispositivos de campo como sensores, controladores autónomos, autómatas programables o actuadores para controlar un proceso en forma remota con la opción de que el proceso sea controlado desde un lugar lejano a través de internet (Hernández & Ledesma, 2010).

Según (Qiu, 2002) los sistemas SCADA representan una parte importante en los sistemas de supervisión de energía utilizando un sinnúmero de tecnologías informáticas y proporcionando cada vez mejor comunicación con todos los dispositivos empleados en un sistema, sin embargo la comunicación utilizada tradicionalmente se utiliza principalmente para la protección y el control del sistema obteniendo así curvas de operación para determinar el funcionamiento de los elementos que componen el sistema visualizando en una pantalla HMI amigable con el usuario.

2.8.1. Necesidades de un sistema SCADA

Para la implementación de un sistema Scada es necesario tomar en cuenta las necesidades básicas como las que se menciona a continuación:

1. Existe un alto número de variables físicas para monitoreo.
2. Cada variable a monitorear está distribuida de modo que sea difícil el acceso a supervisar muchas variables a la vez.

3. La información de un proceso es necesario tenerla en tiempo real, como es el caso de los sistemas eléctricos.
4. Las facilidades y beneficios que brinda un sistema Scada debe ser reflejado en mejorar los niveles de seguridad de un proceso o aumento de producción (Chavarría, 2007).

2.8.2. Funciones correspondientes a un sistema SCADA

Un sistema Scada cumple con las siguientes funciones básicas dentro de un proceso:

1. Supervisión de un proceso en forma remota: Se puede verificar el estado del proceso a través de los datos y señales adquiridas, permitiendo planificar las tareas de mantenimiento.
2. Enviar señales de control hacia los equipos en forma remota: Permite controlar el proceso activando o desactivando diferentes actuadores como motores, válvulas o interruptores desde un computador o una pantalla HMI.
3. Procesamiento de señales provenientes de sensores o equipos de medición: Permite analizar los datos adquiridos y compararlos con valores predefinidos, éste proceso lo hace internamente un controlador, en el cual se programa todos los valores normalizados para compararlos con los valores recibidos de los sensores.
4. Almacenamiento de datos: Es necesario almacenar datos para posteriormente analizarlos y tomar acciones correctivas en caso de ser necesario.
5. Gestionar alarmas en el proceso: Mediante las señales de alarma se puede alertar al encargado del proceso, sobre un mal funcionamiento o un fallo de algún equipo, para poder tomar acciones correctivas inmediatamente (Chavarría, 2007).

2.8.3. Sistema SCADA en la medición de energía eléctrica

Los sistemas SCADA son utilizados ampliamente para diferentes procesos, como en el monitoreo de energía de las redes eléctricas tanto en la parte de generación como de

transmisión y distribución de electricidad, con el fin de optimizar la distribución de energía hacia los usuarios minimizando los costos de operación debido a que en éste tipo de sistemas la operación se puede realizar en forma remota (Raudez, Martinez, & Bustamante, 2010).

Un sistema SCADA es muy útil en el monitoreo de energía eléctrica producida en diferentes tipos de generador, fomentando la eficiencia y confiabilidad en un sistema eléctrico, el cual utiliza elementos electrónicos como sensores ubicados en campo, para transmitir las señales a un controlador y poder tomar decisiones de mantenimiento y operación de los diferentes elementos eléctricos, brindando seguridad debido a que es posible utilizar un mando remoto, es decir sin la presencia humana en el campo. Este tipo de sistemas posee una capacidad de ampliación a medida que un sistema eléctrico crece, disminuyendo la complejidad de operación de un sistema.

Un sistema SCADA en un parque eólico es utilizado principalmente para la adquisición de información en forma remota y control de bucle abierto y bucle cerrado para cada uno de los aerogeneradores proporcionando también una plataforma tanto para el cliente como para la empresa generadora para que cada uno pueda visualizar el estado operativo del sistema analizando así el funcionamiento de cada generador. Además, los usuarios autorizados pueden utilizar el SCADA para modificar los parámetros del sistema como: controladores de los convertidores de energía eólica, sistema de control de voltaje, etc. (Yu, 2011).

Ésta característica de modificación de parámetros es de vital importancia debido a que los parques eólicos deben ser ajustados para obtener un óptimo funcionamiento en las diferentes condiciones de su entorno. El control de bucle cerrado sirve para regular el voltaje en el punto de interconexión, siendo otra característica proporcionada por los sistemas SCADA, que coordina las salidas de la turbina eólica y proporciona soporte de potencia reactiva para el sistema de la compañía eléctrica (Yu, 2011).

Los datos obtenidos de un sistema SCADA pueden utilizarse para predecir posibles fallos en el sistema, dando tiempo a los operadores para programar el mantenimiento adecuado y tomar medidas adicionales para prevenir fallos inesperados lo que llevaría a detenerse el sistema. Un pequeño tiempo de inactividad de una máquina puede afectar a todo un proceso, afectando principalmente a la economía de una empresa, teniendo en cuenta que los datos del sistema SCADA deben ser en tiempo real para poder realizar una planificación en caso de requerir mantenimiento (Schlechtingen, 2013).

2.9. Controlador lógico programable (PLC)

Los controladores lógicos programables (PLC), son la parte esencial de la automatización industrial y muchas fábricas se han dedicado a la investigación para desarrollar nuevas tecnologías con los PLC, dado que son altamente utilizados en la industria ayudando a reducir los costos de producción y aumentar la calidad. La mayor parte de los PLC utilizan en su programación un lenguaje llamado lógica de escalera, aunque también es posible programarlos mediante KOP y FUP. Existen diferentes tipos de PLC y cada uno de ellos utiliza diferentes tipos de software de programación dependiendo de su marca o modelo. La lógica de programación no varía mucho de una marca de PLC a otro, pero es necesario utilizar el software adecuado para el mismo (E. Pérez, 2015).

Un PLC es un dispositivo basado en computadora diseñado para controlar un proceso, relaciona la información proveniente de los sensores que monitorean el estado de un proceso, con el estado de algunos de ellos. Los PLCs son típicamente construidos por elementos de estado sólido, dispositivos de un solo procesador que emulan el comportamiento de un diagrama de escalera eléctrica. Mientras pasa el tiempo, los PLCs evolucionan, siendo mucho más robustos, con características que cubren las necesidades industriales en diferentes áreas de automatización (E. Pérez, 2015).

Los PLCs tienen una infraestructura fácil de entender con una CPU, entradas y salidas analógicas y digitales que permiten la comunicación con los dispositivos del entorno industrial. Las partes de estos dispositivos pueden dividirse en elementos de entrada, elementos de salida y relés internos, los cuales sirven para activar o desactivar elementos de un proceso (E. Pérez, 2015).

Los PLCs son dispositivos programables que componen la mayor parte de sistemas SCADA, siendo los elementos más importantes para la adquisición y el tratamiento de datos del sistema de control, utilizado ampliamente en adquisición de datos para monitoreo de energía eléctrica y control de procesos en centrales de generación, por lo que los PLCs son ampliamente utilizados en procesos industriales dónde es necesario tener un control permanente (Stouffer, 2008).

2.9.1. Estructura de un PLC

La estructura básica de un PLC se compone de los siguientes elementos y se ilustra en la figura 9.

- 1) La Unidad central o CPU
- 2) Memorias
- 3) Módulo de entradas
- 4) Módulo de salidas

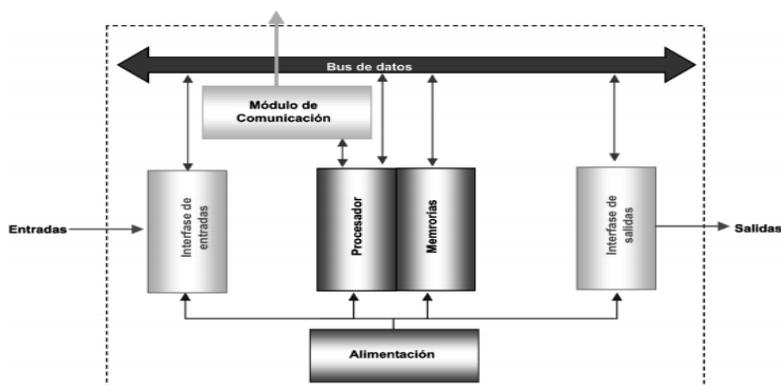


Figura 9. Estructura de un PLC

Fuente:(M. Moreno, 2014)

a) Unidad Central (CPU)

Es el cerebro de un PLC, ya que es el encargado de ejecutar la programación que el usuario ha introducido por medio del software, además tiene la capacidad de administrar la comunicación entre el PLC y otros dispositivos como sensores o actuadores.(M. Moreno, 2014)

b) Memorias

Los PLCs tienen la capacidad de almacenar información en espacios de memoria, pudiendo ser miles de localizaciones que el usuario puede utilizar dependiendo de la complejidad del proceso a controlar. Dentro del tipo de memorias que utilizan estos dispositivos se encuentra la Memoria RAM, que es una memoria de lectura y escritura de datos, ROM que es una memoria sólo de lectura de datos no programable, EPRON es una memoria solo de lectura reprogramable, EEPRON es una memoria de lectura alterable por medios eléctricos.(M. Moreno, 2014)

c) Módulo de entradas y salidas

El módulo de entradas y salidas cumple con la función de intercambiar información de la CPU con medios externos, como sensores o equipos de medición en el caso de las entradas, y en el caso de las salidas pueden ser relés, motores o electroválvulas, cada una de éstas cumplen una determinada función en un proceso.(M. Moreno, 2014)

2.10. Plc Simatic S7 – 1200

El PLC de la marca siemens Simatic S7-1200 mostrado en la figura 10, es utilizado ampliamente en la industria de la Automatización debido a sus características como su alta capacidad de procesamiento y su facilidad de programación y configuración a través

de software STEP 7 basic V14, lo cual lo hace conveniente para cualquier tipo de proceso industrial.(Siemens, 2015)

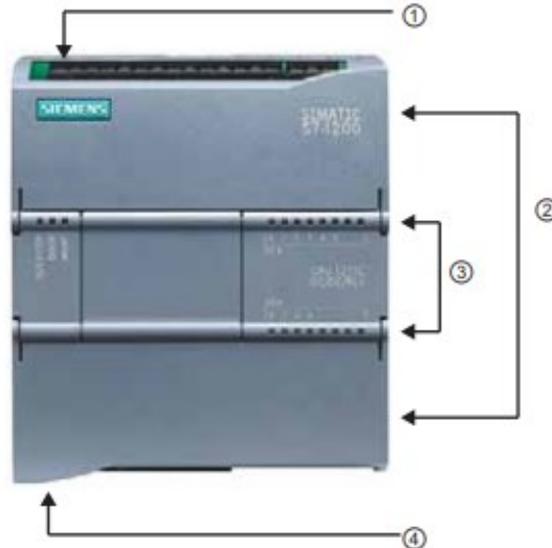


Figura 10. Partes de un PLC S7-1200

Fuente: (Siemens, 2015)

- 1) Entrada de alimentación
- 2) Tapa extraíble para conexionado
- 3) Leds indicadores de entradas y salidas
- 4) Conector PROFINET

Características técnicas del PLC S7-1200

Así por ejemplo, la CPU 1212C del PLC S7-1200 mostrado en la tabla 1, contiene en su interior un microprocesador el cual permite ejecutar la programación del equipo, además entradas y salidas integradas con una fuente de alimentación de 12 V la cual provee de energía eléctrica a la CPU, módulos de comunicación así como otros equipos que consumen energía, todo esto se encuentra dentro de una carcasa de plástico resistente, convirtiéndolo en una muy buena opción para procesos de automatización (Siemens, 2015).

Tabla 1

Características técnicas PLC S7-1200

	6ES7 211-1BE31-0XB0 CPU 1211C AC/DC/relé	6ES7 211-1AE31-0XB0 CPU 1211C DC/DC/DC	6ES7 211-1HE31-0XB0 CPU 1211C DC/DC/relé
Información general			
Ingeniería con			
• Paquete de programación	STEP 7 V11.0 SP2 o superior	STEP 7 V11.0 SP2 o superior	STEP 7 V11.0 SP2 o superior
Tensión de alimentación			
24 V DC		SI	SI
120 V AC	SI		
230 V AC	SI		
Alimentación de sensores			
Alimentación de sensores 24 V			
• 24 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V
Pérdidas			
Pérdidas, tip.	10 W	8 W	8 W
Memoria			
Memoria de trabajo			
• integrada	30 kbyte	30 kbyte	30 kbyte
Memoria de carga			
• integrada	1 Mbyte	1 Mbyte	1 Mbyte
Respaldo			
• sin pila	SI	SI	SI
Tiempos de ejecución de la CPU			
para operaciones de bits, tip.	0,085 µs; /instrucción	0,085 µs; /instrucción	0,085 µs; /instrucción
para operaciones de palabras, tip.	1,7 µs; /instrucción	1,7 µs; /instrucción	1,7 µs; /instrucción
para aritmética en coma flotante, tip.	2,5 µs; /instrucción	2,5 µs; /instrucción	2,5 µs; /instrucción
Áreas de datos y su permanencia			
Marcas			
• Cantidad, máx.	4 kbyte; Tamaño del área de marcas	4 kbyte; Tamaño del área de marcas	4 kbyte; Tamaño del área de marcas
Área de direcciones			
Imagen del proceso			
• Entradas, configurables	1 kbyte	1 kbyte	1 kbyte
• Salidas, configurables	1 kbyte	1 kbyte	1 kbyte
Hora			
Reloj			
• Reloj por hardware (reloj tiempo real)	SI	SI	SI

Fuente: (Siemens, 2015)

Este tipo de PLC es capaz de ejecutar la lógica de programación con rapidez y eficacia, el cual contiene ocho entradas digitales, seis salidas digitales y dos entradas analógicas, con la capacidad de ampliación a través de módulos de entradas y salidas, y un puerto Ethernet para comunicarse de manera muy fácil con una PC. Toda CPU en éste tipo de PLCs ofrece protección por medio de contraseña que permite controlar el acceso a las funciones del equipo (Siemens, 2015).

2.11. Módulos de comunicación

La gama de los PLCs de la marca siemens S7-1200 contiene módulos de comunicación denominados CMs, ofreciendo flexibilidad de comunicación con equipos industriales, ofreciendo a sus usuarios dos tipos de módulos: RS232 que se muestra en

la figura 11, y RS485, cada uno de éstos se utilizarán de acuerdo a la aplicación (Siemens, 2015).



Figura 11. Módulo de comunicación RS-485

Fuente:(Siemens, 2015)

- 1) Leds indicadores del estado del módulo
- 2) Puerto de comunicación

La CPU del PLC S7-1200 AC DC RLY soporta como máximo tres módulos de comunicación los cuales se conectarán siempre al lado izquierdo justo antes de la CPU, y los módulos de entradas y salidas se conectarán al lado derecho (Siemens, 2015).

2.12. Step 7 Basic

El STEP 7 BASIC mostrado en la figura 12, es el software de programación para los PLCs de la gama S7-1200-1500, y ofrece un entorno fácil de entender en cuanto a configuración del dispositivo como para introducir la lógica de programación en lenguaje Ladder, KOP y FUP, incluyendo el diseño del HMI con herramientas muy útiles para el desarrollo de un proceso. Además hay la posibilidad de visualizar un proceso mediante un HMI PC System, que es una herramienta gráfica muy útil en la cual se puede incluir informes o alarmas definidas por el usuario (Siemens, 2015).

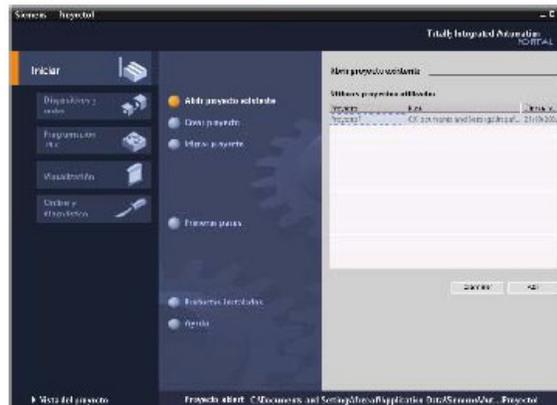


Figura 12. Software Step 7

Fuente: (Siemens, 2015)

2.13. Redes de comunicación

Una red de comunicación es la unión de varios nodos, los cuales pueden ser equipos que se conectan entre sí, transmitiendo información en conjunto para poder utilizarla en diferentes tareas dentro de los procesos de automatización industrial. La red puede ser conformada por diferentes equipos como Plcs Industriales, controladores, sistemas de control, sensores, transductores o actuadores (Torres, 2015).

Las redes de comunicación de tipo industrial deben tener la capacidad de desarrollarse en un ambiente hostil, es decir con ruido electromagnético y temperaturas variables. Dependiendo del uso que se le dé a éste tipo de redes puede trabajar a nivel de campo o para llevar información hacia un sistema SCADA, con su característica fundamental que es la transmisión de datos en tiempo real (Universidad de Valencia, 2009).

En la parte Industrial se manejan diferentes tipos de redes como la Red Administrativa: Es una red destinada para una oficina, utilizada para la gestión de datos, en éste ambiente no afectará el ruido electromagnético por lo que se manejará transmisión de datos a una alta velocidad. Otro tipo de red es la red de planta, se utiliza para interconectar módulos o equipos utilizados en un proceso como por ejemplo en la

transmisión de variables eléctricas hacia un sistema SCADA dónde se realiza la gestión y el control teniendo un amplio ancho de banda para la transmisión de datos. El bus de campo se utiliza para reducir conductores dentro de una red, utilizando sólo un tipo de conductor a la que se conecten varios equipos con la facilidad de transmitir datos en forma bidireccional (Universidad de Valencia, 2009).

2.14. Pirámide de automatización

Desde la aparición de la automatización industrial por medio de autómatas programables, se ha venido desarrollando un modelo gráfico en el cual consta la estructura que debe seguir todo tipo de proceso automatizado formado por elementos de sensado, elementos de comunicación y elementos de ejecución como se puede observar en la siguiente figura 13 llamada pirámide de automatización:



Figura 13. Pirámide de Automatización

Fuente: (Torres, 2015)

De acuerdo a la pirámide de automatización el nivel más bajo corresponde a entradas y salidas, haciendo referencia a todos los dispositivos de campo como son sensores, actuadores o transmisores, los cuales se conectan a la red industrial para transmitir información referente al proceso. El segundo nivel corresponde al control, donde se encuentran las computadoras y los PLCs, los cuales van a ser programados de acuerdo al proceso y son los encargados de recibir la información de los sensores y transductores para dar las órdenes a los actuadores (Torres, 2015).

El nivel más alto dentro de la pirámide de automatización se encuentra el nivel de gestión, donde intervienen los PLCs con procesadores mucho más avanzados, los cuales son capaces de monitorear todo el proceso, recibiendo información desde el nivel más bajo a través de los sensores, además utilizan protocolos de comunicación como el Ethernet para recibir y transmitir datos del proceso hacia una PC y visualizarlo mediante interfaz gráfica, constituyéndose así un sistema SCADA el cual supervisa y controla el sistema automáticamente sin la necesidad de que una persona se encuentre permanentemente en la planta (Torres, 2015).

2.15. Buses de campo

Los buses de campo son redes digitales que trabajan en dos direcciones con un sistema multipunto, es decir se transmite y recepta información, las cuales están montadas en un bus serie a la que se conectan varios elementos como sensores, transductores, actuadores o PLCs con sus módulos de entradas y salidas. Normalmente los buses de campo son sistemas abiertos como DeviceNet, WorldFip, Foundation Fieldbus, Modbus, Interbus y Profibus, los cuales son encargados de interconectar a varios dispositivos para transmitir información de cada uno de ellos (Sanchez, 2007).

2.15.1. Ventajas de los buses de campo

Al utilizar buses de campo en un proceso de automatización se pretende optimizar el sistema de la siguiente forma:

- Reducción de conductores al realizar una instalación
- Capacidad de obtener datos de distintos equipos a la vez
- Permite el intercambio de información en forma bidireccional
- Aumento del rendimiento de un proceso (Prado & Marrone, 2010).

2.15.2. Desventajas de los buses de campo

- Los equipos capaces de transmitir información por los buses de campo son más costosos al ser más sofisticados.
- El costo de mantenimiento puede ser más costoso por su complejidad de operación.

2.16. Redes de comunicación PROFIBUS

PROFIBUS es un bus de campo de tipo abierto y tiene un amplio rango de aplicaciones como en procesos de producción y en el área de automatización, mostrados en la figura 14. Por medio de Profibus es posible tener la comunicación de diferentes equipos y distintos fabricantes sin la necesidad de montar múltiples interfaces, la cual proporciona alta velocidad y seguridad en el traslado de información en procesos extensos y complejos (Sanchez, 2007).

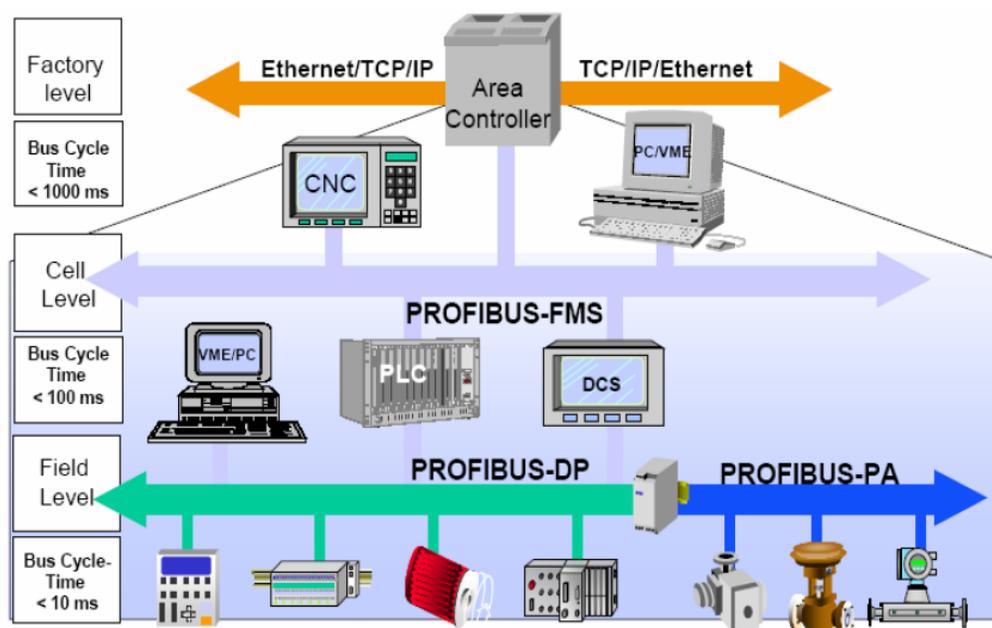


Figura 14. Redes de Comunicación PROFIBUS

Fuente:(Sanchez, 2007)

2.16.1. Funcionamiento del PROFIBUS

En el Protocolo de comunicación Profibus establece una característica importante, es un bus de campo de tipo serie, en el cual puede haber muchos equipos funcionando en forma de maestro, con el propósito de controlar varios procesos a la vez, existen dos tipos de dispositivos: Dispositivo Maestro y Esclavo, dónde los dispositivos Maestro pueden solicitar información de los demás dispositivos montados en la red, y los dispositivos Esclavo responden la solicitud y envían la información por medio de mismo bus de campo (Prado & Marrone, 2010).

2.16.2. Profibus – DP

Su aplicación se caracteriza por la capacidad de intercambiar información en pequeñas cantidades a una velocidad muy alta entre un controlador y los elementos de campo, haciendo funciones de maestro esclavo. En este caso el maestro puede ser un autómeta programable (PLC) el cual controlará todos los dispositivos montados en la red, los que harán funciones de esclavo como sensores o equipos de medición, los mismos que tendrán la capacidad únicamente de enviar información al controlador (Sanchez, 2007).

2.16.3. Topología de la red PROFIBUS

Para la transmisión de datos por medio de una red PROFIBUS se utiliza cable de cobre de dos hilos apantallado, para eliminar el ruido que pueda causar interferencia con la señal enviada por el cable (Siemens, 2005).



Figura 15. Topología Red PROFIBUS

Fuente: (Bonifaz & Flores, 2013)

Teniendo en cuenta la estructura física de PROFIBUS, es importante citar que es posible conectar una variedad de equipos en el mismo bus de campo, funcionando en forma de maestro y esclavo, dónde un esclavo puede ser el maestro de otro bus de campo de un nivel inferior, como se muestra en la siguiente figura 15 (Bonifaz & Flores, 2013).



Figura 16. Red PROFIBUS

Fuente: (Bonifaz & Flores, 2013)

2.16.4. Transmisión de datos PROFIBUS – DP

Para transmitir los datos desde cualquier tipo de equipo o sensor por medio de un bus de Profibus – DP es necesario configurarlos para que funcionen como maestro o esclavo, y como se pudo observar en la figura 16, en la misma red pueden estar montados varios maestros y varios esclavos, lo cual es utilizado ampliamente especialmente para sistemas SCADA, dónde el maestro por lo general es un PLC y los esclavos son sensores, transductores y equipos de medición, los mismos que responden únicamente cuando el PLC solicita la información correspondiente. (Bonifaz & Flores, 2013)

La tabla 2, muestra las características para la transmisión de datos en una red Profibus RS – 485:

Tabla 2

Características de transmisión de datos mediante red Serial RS-485

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA SEGÚN EN 50 170
Velocidad de transmisión	9,6 kbit/s – 12 Mbit/s
Modo de Acceso	Maestro – Esclavo
Volumen de Datos	Hasta 246 Bytes
Tiempo de ciclo	5 – 10 ms
Máximo número de nodos	32 Equipos por segmento con un total de 127
Medio de Transmisión: Eléctrico	Cable de dos hilos apantallado
Fibra Óptica	Cable de FP (Plástico o Cristal)
Infrarrojo	Infrarrojo
Longitud de red Eléctrica	9.6 Km dependiendo de la velocidad
Fibra Óptica	150 Km dependiendo de la velocidad

Fuente:(Universidad de Oviedo, 2016)

2.16.5. Elementos de una red PROFIBUS - DP

Dentro de una red Profibus intervienen los siguientes elementos que se muestran gráficamente en la figura 17:

- Maestros
- Esclavos
- Cables
- Conectores

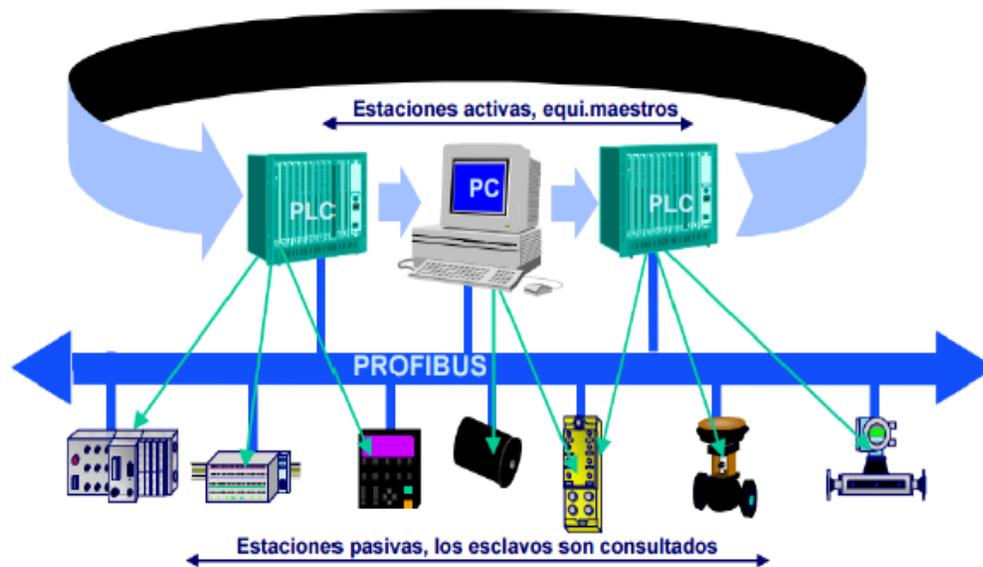


Figura 17. Elementos de una red Profibus-DP

Fuente: (Sanchez, 2007)

2.17. Hipótesis

Con la implementación de un sistema Scada se podrá controlar la carga eléctrica instalada, y a la vez monitorear en tiempo real la potencia y energía del generador híbrido para poder realizar el análisis energético del sistema.

2.17.1. Variables de investigación

Variable independiente: Diseño e Implementación de un sistema Scada en un generador híbrido conformado por un generador eólico y un generador fotovoltaico.

Variable dependiente: Control de carga eléctrica y medición de la energía obtenida por parte del generador híbrido, obteniendo datos en tiempo real para realizar un análisis energético en el sistema.

En la tabla 3 se encuentra la operacionalización de la variable Independiente.

Tabla 3

Operacionalización de variable independiente

DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
El sistema Scada es una plataforma que monitorea el estado del sistema eléctrico en el generador híbrido, mediante la adquisición de datos por medio de medidores de energía, para representarlos gráficamente en un HMI	Determinar y adquirir los equipos de medición a implementar	Medidor de Energía AC
		Medidor de Energía AC para bajas Frecuencias
		Medidor de Energía DC
		Controlador
		Medidor de Irradiancia solar
		Medidor de Velocidad del viento
	Acondicionar Equipos	Medidores de Energía
		Anemómetro
		Piranómetro
	Implementación de equipos	Equipos de medición implementados en lugares específicos del sistema
	Programación de los medidores de energía	Pantalla de Programación en el equipo
	Programación del controlador para la adquisición de datos	Manejo de variables
		Programación
Diseño de la interfaz gráfica	Diseño de Interfaz de usuario HMI	

En la tabla 4 se encuentra la operacionalización de la variable Dependiente.

Tabla 4

Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Control de carga eléctrica y medición de la energía obtenida por parte del generador híbrido, obteniendo datos en tiempo real para realizar un análisis energético en el sistema.	La medición de la energía eléctrica producida por el generador híbrido permite realizar el análisis energético y poder fijar un control de carga adecuado para el sistema	Energía Producida vs Energía Consumida	Energía real generada por el sistema Híbrido
			Energía real consumida por la Carga conectada al sistema
		Potencia Generada vs Potencia teórica	Potencia real generada
			Potencia teórica calculada
Control de carga	Control de carga automática y manual		

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Antecedentes investigativos

En los últimos años el uso de las energías renovables se ha incrementado en todo el mundo. Según la Agencia Internacional de la Energía, en el 2015 el uso de energías renovables superó al uso de los combustibles fósiles por primera vez, lo cual significa que la mayor parte de países están cambiando la forma de producir energía eléctrica sin afectar el medio ambiente a diferencia de las centrales de generación hidroeléctricas que afectan a las especies de peces en los ríos que tienen influencia, y las centrales de generación termoeléctricas que emanan CO₂ al ambiente (Acciona, 2015).

China es el país que más se ha desarrollado en la implementación de proyectos con enfoque a energías renovables, siendo el decremento de los precios de generación uno de los factores principales para este desarrollo (Energiza, 2016).

Para este tipo de instalaciones en que intervienen aerogeneradores y paneles solares fotovoltaicos, es necesario monitorear la energía eléctrica producida como lo menciona (Ortiz, 2011) en su tesis, el cual dice que “El desarrollo de las redes inteligentes, contribuyen a la gestión y operación de los sistemas de generación de energía”.

Además, en el informe de investigación “Web-SCADA for Monitoring and Controlling Hybrid Wind-PV Power System” (Aryuanto, 2013), nos explica que “El sistema SCADA proporciona una toma de decisiones efectiva para administrar la disponibilidad de energía de recursos de energía renovable (eólica, solar e hidroeléctrica) para los consumidores”.

Debido a que este tipo de energía depende tanto de la velocidad del viento, como de la radiación solar y otras magnitudes más según el tipo de energía producida, las cuales

son variables en el tiempo. Este sistema Scada puede obtener datos en tiempo real, por lo que al implementar este proyecto de titulación en el generador híbrido del laboratorio de Energías Renovables de la universidad se lograra monitorear la producción de energía las 24 horas del día, además de controlar la carga conectada al generador.

Actualmente el Ecuador se ha establecido la necesidad de lograr la diversificación de la matriz energética nacional basada tradicionalmente en fuentes convencionales de energía, por una que pueda sustentarse por medio de recursos renovables autóctonos (hídrica, solar, eólica biomasa y geotermia)(Plan Nacional de Desarrollo toda una Vida, 2017).

Esto ha logrado que varios proyectos se enfoquen en la generación de energía usando dichos recursos renovables, como es el caso del parque de generación eólica Villonaco ubicado en la ciudad de Loja el cual consta de una potencia instalada de 16,5 MW, dicho lugar tiene una velocidad promedio anual de viento aproximada a 10m/s (INER, 2017). Siendo así un proyecto emblema en este tipo de energía, este proyecto tiene incluido en su funcionamiento servidores SCADA y equipos de comunicación, protección, medición y equipos de control, los cuales ayudan a la supervisión y control del parque generador.

Pero no solo se han creado generadores de energía renovables de gran magnitud sino también se han creado proyectos privados que usan generadores híbridos en baja escala utilizados para aportar al sistema de distribución eléctrica, dichos proyecto aun así no cuentan con sistemas de monitoreo en su funcionamiento por lo cual se limita la relación entre el sistema y los usuarios, visto esto ha sido necesario introducir a estas nuevas fuentes de energía nuevos elementos de automatización y control mejorando así la gestión del sistema con el monitoreo del mismo. (Dumitru & Gligor, 2012)

En sistemas híbridos de generación de energía renovable (fotovoltaicos y aerogeneradores eólicos), es necesario un análisis detallado ya que su generación es de forma intermitente, es decir dependen de las magnitudes físicas atmosféricas como son

radiación solar y velocidad del viento respectivamente las cuales no pueden ser controladas, por lo cual un sistema SCADA ayuda a la monitorización constante en tiempo real del consumo que puede ser conectado a dicho sistema de generación.

3.2 Modalidad de la investigación

El presente proyecto se define usando una relación entre el diagnóstico – problema – proyecto - solución. Intentado responder dos preguntas: ¿Cuál es el problema? y ¿Se solucionará el problema?, para lo cual se sigue un proceso de elaboración de proyectos que se describe de la siguiente manera:

- Como punto de partida se toma una investigación bibliográfica sobre el tema para recolección de información y criterios que son usados para tener una visión panorámica entre el diagnóstico y el problema.
- Luego se utiliza el método inductivo, a través del análisis de casos para determinar los requerimientos del proceso y en base a ellos iniciar la implementación del sistema, llegando así a la relación entre el problema y el proyecto.
- Finalmente se usa una investigación experimental la cual, mediante el análisis cuantitativo del tiempo del proceso, se determina la eficiencia del sistema, ya en funcionamiento, logrando así la última relación entre el proyecto y la solución al problema.

3.3 Tipos de Investigación

3.3.1. Investigación bibliográfica

El proyecto planteado inicia con la recolección de información en materiales bibliográficos, artículos científicos, catálogos, revistas científicas, páginas web, y libros de ingeniería en los que se logra obtener información importante para la elaboración del sistema Scada enfocado en sistemas de generación híbrida.

Los datos relevantes que el sistema busca monitorear son importantes para la evaluación energética en torno a la generación y al consumo de la energía, incluyendo la selección del controlador lógico programable y el protocolo de comunicación.

3.3.2. Investigación de método inductivo

Mediante este método se obtiene el sustento teórico – práctico del proyecto que será implementado en el laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las fuerzas armadas ESPE Latacunga, en base a los resultados de la investigación bibliográfica y mediante el razonamiento de los diferentes tipos de equipos que fueron implementados en proyectos similares, para lo cual es necesario tener una información amplia de los diferentes tipos de magnitudes que son requeridos en los sistema SCADA para el área de Fuentes Alternativas de Energía.

3.3.3. Investigación experimental

El uso de esta investigación se da en la selección de los equipos. Inicialmente se realizan pruebas a diferentes componentes existentes en el mercado, los cuales pueden ser utilizados en Scadas enfocados a Fuentes Alternativas de Energía, también se obtiene información mediante condiciones de prueba, realizadas en diferentes laboratorios de la Universidad de las fuerzas Armadas – ESPE, con el fin de analizar el comportamiento del generador híbrido.

3.3.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación da el enfoque necesario por los investigadores para poder responder a los problemas planteados mediante objetivos, dichos objetivos se cumplen solo cuando el problema planteado sea resuelto. El objetivo principal del proyecto es el diseño y la implementación de un sistema SCADA para el control de carga y la medición de energía eléctrica generada por el sistema híbrido, en las cuales se miden variables

como voltajes, corrientes, potencias y energías entregados por el generador eólico y por los paneles fotovoltaicos, estas magnitudes son extraídas gracias a los equipos medidores de energía e interpretados por medio de un controlador lógico programable. Además, se realiza la comparación de la potencia real obtenida, y la potencia teórica, la cual es calculada mediante la medición de variables físicas como radiación solar y velocidad del viento, con el objetivo de determinar el rendimiento de cada componente del sistema.

3.4. Niveles de la investigación

3.4.1. Exploratoria

Como primer nivel de la investigación se explora el problema del Sistema Híbrido instalado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga, y se da a notar un déficit tanto en el monitoreo de la producción de energía como en la pérdida de ésta energía ya que la carga conectada a este sistema no tiene un control adecuado. Gracias a éste análisis se obtiene una idea clara del proyecto.

3.4.2. Descriptiva

Este nivel se usa para el planteamiento de la hipótesis que surgió de la exploración que se realizó, con esta investigación se logra definir los procesos concretos del proyecto los cuales son el monitoreo de la eficiencia energética de los generadores y de la carga, así mismo un control en ésta, logrando así determinar el desarrollo adecuado del proyecto.

3.4.3. Investigación explicativa

Como último nivel se toma en cuenta la descripción del proyecto y se explican las causas que originaron el estudio es decir se pide una explicación del objeto del proyecto,

a fin de responder a las preguntas ¿Qué problema tiene el Sistema Híbrido?, ¿Cómo solucionar el problema existente en el Sistema Híbrido?, dando a notar que existe un problema en el monitoreo de energía generada y consumida, además del control que debería tener la carga conectada al generador híbrido, lo que afecta a la eficiencia del sistema logrando así confirmar la hipótesis.

3.4.4. Población y muestra

Mediante un análisis detallado del proyecto en base a una serie de preguntas podemos lograr una respuesta al problema propuesto en el capítulo uno del presente proyecto, estas preguntas se presentan en la tabla 5.

Tabla 5

Preguntas básicas para la solución de problemas

Preguntas Básicas		Respuestas Obtenidas
1	¿Para qué?	Para el control de carga y el monitoreo de la energía eléctrica.
2	¿De qué personas u objetos?	Del generador híbrido
3	¿Sobre qué aspecto?	Sobre la eficiencia del sistema
4	¿Quién? ¿Quiénes?	Investigadores
5	¿Cuándo?	2018
6	¿Dónde?	En el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga
7	¿Cuántas veces?	Una vez
8	¿Qué técnicas?	Medición y control
9	¿Con qué?	Sistema Scada para Energías Renovables
10	¿En qué situación?	En un proceso continuo de funcionamiento

3.5. Técnicas de recolección de datos

3.5.1. Observación de laboratorio

Mediante técnicas de observación en los diferentes laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga se logra determinar la selección adecuada de equipos necesarios para el sistema, como es el caso de las pruebas realizadas a los medidores de energía en corriente alterna a bajas frecuencias, similares a las entregadas por el generador eólico, obteniendo como resultado que la mayor parte de instrumentos de medición industriales, pueden medir frecuencias en un rango de 45 Hz a 60 Hz, por lo que es necesario implementar un equipo que tenga la capacidad de medir energía con frecuencia variable 0 a 100 Hz.

3.5.2. Instrumentos de medición

Para obtener los datos necesarios en un sistema Scada de monitoreo de Energías Renovables, se usan tres medidores de energía eléctrica, uno para el aerogenerador eólico, uno para los paneles fotovoltaicos y uno para el consumo de la carga conectada al sistema. Todos estos medidores tienen protocolo de comunicación similar, los cuales permiten la conexión directa a un PLC, el mismo que interpreta éstos datos y los traslada a unidades de Ingeniería. También se utiliza un piranómetro y un anemómetro para la medición de radiación solar y velocidad del viento respectivamente los cuales se conectan por medio de señales analógicas, y mediante las salidas del controlador se logra el control de la carga del sistema. Todos estos datos se codifican y mediante un HMI-Pc-System se visualizan los parámetros obtenidos para la creación de una base de datos.

3.5.3. Técnica de análisis de datos

Para el análisis de datos se compara la potencia eléctrica entregada por los equipos de medición con la potencia teórica que se generará mediante ecuaciones usando las magnitudes medidas por el piranómetro y por el anemómetro logrando así tener una

relación entre la energía producida en el sistema como la energía teórica que se podría generar gracias a las magnitudes de radiación solar y de velocidad de viento, además de la eficiencia del sistema al comparar la energía generada con la energía consumida por la carga mediante su funcionamiento, bajo este análisis se lograra determinar la hipótesis planteada, manteniendo un monitoreo a tiempo real del sistema y almacenando dicha información en una base de datos para su posterior análisis técnico.

3.5.4. Técnicas de comprobación de hipótesis

Mediante los datos obtenidos en el visualizador de información HMI-Pc-System se obtiene el monitoreo en tiempo real de las magnitudes eléctricas del sistema tanto en generación como en consumo de carga y bajo el estudio de los datos almacenados se determina el análisis energético del sistema.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo presenta los resultados obtenidos luego de la investigación, permitiendo analizarlos para luego ser usados en el desarrollo del proyecto, como en la selección de equipos que generalmente son parte de Scadas para sistemas de generación híbrida, además de tener una idea general de los objetivos que se cumplirán en el diseño e implementación de éste.

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Sistema híbrido de generación implementado

En el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía ubicado en la terraza del bloque C de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, se encuentra instalado el sistema de generación híbrida, el cual consta de un aerogenerador de marca Zonhan cuya potencia es de 750W a 12V de corriente alterna , dos paneles fotovoltaicos de marca Exmork cuya potencia es de 100W en corriente continua, un regulador de carga diseñado por el fabricante del aerogenerador directamente para ser usado con esta turbina, el cual acepta en su sistema el ingreso de energía obtenida por paneles fotovoltaicos de hasta 300W, dos baterías de 12V para acumular la energía entregada por el regulador de carga, y un inversor de 1KW el cual transforma la potencia instalada en el generador híbrido, tiene un voltaje de entrada de 12v, con una salida de corriente alterna, a 120V y 60Hz.

4.1.2 Medición de variables eléctricas en el sistema híbrido

De las diferentes pruebas de medición realizadas se logra obtener un sondeo de las magnitudes que se generan en los equipos que conforman el sistema híbrido, los cuales se comparan con las especificaciones técnicas del generador Eólico mostrado en el

anexo 1 y las especificaciones técnicas del generador fotovoltaico mostrado en el anexo 2, ésta comparación se presenta en la tabla 6, siendo de gran importancia para la selección de los medidores de energía a instalar.

Tabla 6

Medición y comparación de variables en el generador híbrido

Magnitudes Eléctricas	Aerogenerador		Fotovoltaicos		Carga	
	Especificaciones Técnicas	Mediciones Realizadas	Especificaciones Técnicas	Mediciones Realizadas	Especificaciones Técnicas Inversor	Mediciones Realizadas Lámpara 50 W
Voltaje	12 V	12 V	22 V	20,88 V	120 V	120,8 V
Corriente	36,8 A	38,61 A	12,28 A	11,52 A	8,33 A	0,41 A
Potencia	750 W	400 W	200 W	165,62 W	1000W	49,05 W
Frecuencia	Variable	0 - 46 Hz	-	-	60 Hz	59,8 Hz

4.1.3 Medición de la velocidad del viento

Para analizar la variación de la velocidad del viento se realizó la toma de datos mediante la estación meteorológica Vantage Pro-Plus, la cual está instalada en una torre ubicada en la terraza del bloque central de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga, esta prueba se realizó desde el 05 de agosto 00:00 horas hasta el 09 de agosto 23:59 horas, con una adquisición de datos de 1 minuto.

Los datos obtenidos son presentados en la figura 18 y son usados para representar la frecuencia de variación del viento, así como sus valores máximos y mínimos alcanzados en el periodo de prueba, el 100% de la frecuencia se da en base a los 4092 datos analizados con respecto a la velocidad alcanzada por el viento, siendo el valor máximo alcanzado por el viento 9.8 m/s y 3.1 m/s el valor que tiene mayor porcentaje de

frecuencia reincidente, estos datos ayudan a observar el margen de estabilidad que tiene el generador eólico en días normales de funcionamiento.

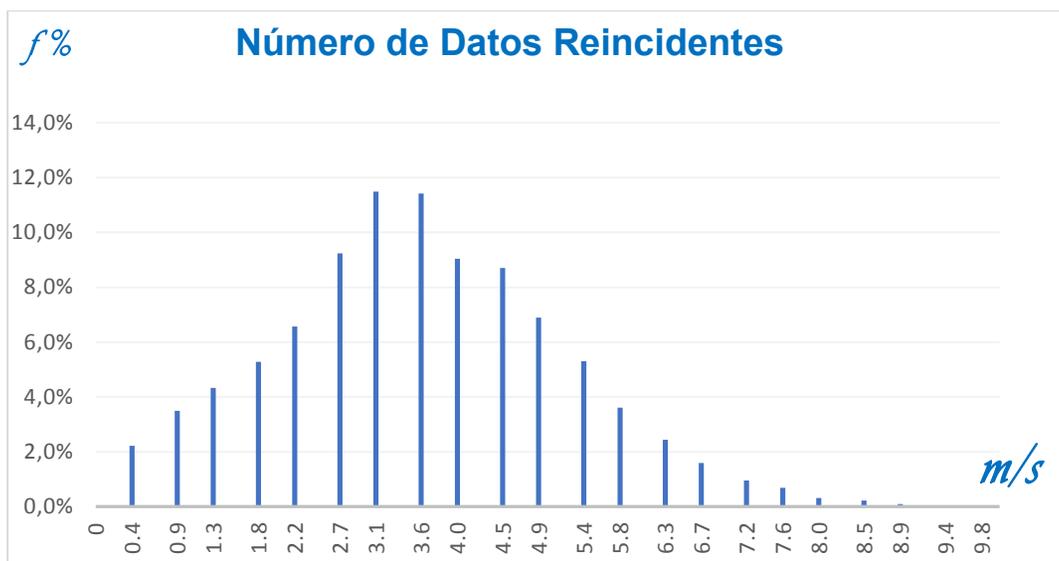


Figura 18. Frecuencia de variación del Viento en la prueba realizada

4.1.4 Control de datos

Según la investigación en base a los equipos de medición es necesario un control de datos, dando a notar dos protocolos de intercambio de datos que son comunes en la manipulación de éstos, además de la utilización de señales analógicas entregadas generalmente por los sensores de irradiancia solar y de velocidad del viento, así como las formas de realizar un control de carga, por lo tanto es necesario un controlador lógico programable centralizado que cumpla con los parámetros presentados en la tabla 7.

Tabla 7:

Requerimientos del sistema

Parámetros Del PLC	Requisitos necesarios
Número de entradas analógicas	2
Número de salidas relé	1

CONTINÚA



Alimentación del PLC	120 V AC
Protocolos intercambio de datos	Modbus Rs_485 o Ethernet
Protocolo de comunicación	Ethernet

4.5 Comprobación de hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se analizan todos los resultados que se obtuvieron anteriormente, logrando así verificar si al implementar un sistema Scada se lograra determinar la eficiencia del generador híbrido, sin alterar su funcionamiento y con equipos que cumplan las necesidades del proyecto, es decir si es viable o no dicha implementación.

4.5.1 Planteamiento de hipótesis

Con el diseño y la implementación de un sistema SCADA se podrá controlar la carga eléctrica instalada y a la vez monitorear en tiempo real la energía eléctrica producida por parte de un generador híbrido, utilizando un controlador lógico programable y medidores de energía, en el Laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, para poder realizar el balance energético en base a los datos exportados del sistema.

4.5.1.1 Viabilidad del proyecto

Con en análisis realizado se da como resultado que el proyecto es viable, permitiendo comenzar con el diseño e implementación de un sistema Scada que controle la carga eléctrica instalada, y a la vez se monitoreará en tiempo real la potencia y energía del generador híbrido para lograr el análisis energético del sistema.

CAPITULO V

5 Tema de la propuesta

Diseño e implementación de un Sistema SCADA para el control de carga y el monitoreo de la energía eléctrica obtenida por un generador híbrido (eólico-solar), en el laboratorio de fuentes alternativas de energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

5.1 Datos informativos

Nombre de la empresa: Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga.

Dirección: Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Calle Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez, Laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía.

Tipo de empresa: Educación

Tamaño de la empresa: Grande

5.1.1 Beneficiarios

Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica, en el campo de Automatización y Fuentes Alternativas de Energía.

5.2 Objetivos

5.2.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema SCADA para el control de carga y el monitoreo de energía eléctrica producida por un generador híbrido, utilizando un controlador lógico programable y medidores de energía, en el Laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, para determinar el balance energético en base a los datos exportados del sistema.

5.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema SCADA que permita realizar mediciones de energía eléctrica producida por un generador Híbrido y controlar la carga instalada, mediante horarios de operación programados.
- Implementar el sistema SCADA, utilizando un controlador lógico programable, medidores de energía y sensores analógicos con sus acondicionamientos de señal, que permitan obtener los datos del sistema y realizar pruebas de funcionamiento para determinar que los valores medidos sean reales.
- Realizar el análisis energético mediante la base de datos exportada de las pruebas realizadas, y determinar el rendimiento del sistema.

5.3 Justificación de la propuesta

El modelo del presente Sistema SCADA a implementarse pretende determinar el rendimiento y balance energético tanto de la turbina eólica como de los paneles fotovoltaicos ubicados en el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga, con el objetivo de monitorear constantemente la producción de energía del sistema, a más de desarrollar nuevas habilidades en los estudiantes al realizar prácticas de Automatización enfocado en energías renovables.

Mediante los conocimientos adquiridos en el proyecto se pretende que los estudiantes sumen conocimientos en este tipo de tecnologías dedicadas a la automatización y monitoreo de generadores híbridos, en los cuales interviene la medición de diferentes variables como la velocidad del viento y la irradiación solar, las mismas que son fundamentales para la determinación del rendimiento del sistema. Los medidores de energía instalados en el sistema son de real importancia, enviando constantemente y en tiempo real, los datos de Voltaje, Corriente, Potencia, Energía, entre otros parámetros, los mismos que se transmiten por medio de una red de comunicación Modbus RS-485, visualizando todo el proceso en una plataforma Scada para su monitoreo y control.

5.4 Fundamentación propuesta

La propuesta que se presenta en éste capítulo está relacionado con el diseño y la implementación de un sistema SCADA para el monitoreo de la energía eléctrica producida por un generador Híbrido (Eólico – Solar), el mismo que permitirá la adquisición de variables eléctricas de todo el sistema, como voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, frecuencia y energía, mediante medidores de energía que poseen comunicación para la transmisión de datos a un controlador, adicionalmente el diseño cuenta con medidores de velocidad del viento e irradiancia solar, con el fin de analizar el rendimiento del sistema. Las lecturas se realizarán en tiempo real, y sus datos se almacenarán en un archivo compatible con Microsoft Excel para su posterior análisis energético.

5.5 Diseño de la propuesta

5.5.1 Resumen

A continuación, se define el formato a considerar de acuerdo con la propuesta.

- **Medición de los parámetros eléctricos de salida del generador híbrido:** Antes de iniciar con el diseño es necesario realizar mediciones de los parámetros eléctricos en el sistema, como voltajes, corrientes, y frecuencia de salida en el generador eólico, además del voltaje y corriente en la salida de los paneles fotovoltaicos para determinar el uso de los equipos apropiados y monitorear el sistema.
- **Selección de equipos:** Para seleccionar correctamente los equipos es necesario tomar en consideración los rangos de medición analizados en la tabla 6, adicionalmente se requiere que tengan un protocolo de comunicación similar al requerido por el PLC, mostrados en la tabla 6, para montar una red de intercambio de información y obtener datos en tiempo real.
- **Obtención de variables eléctricas por medio de medidores de energía eléctrica:** Los datos obtenidos de los medidores de energía deben ser calibrados y a la vez verificar que éstos entreguen medidas reales, en caso de que existan errores, será necesario programar manualmente cada uno de los equipos introduciendo los parámetros correctos del sistema.
- **Comunicación de los equipos con la PC:** Es necesario implementar una red de comunicación en la cual se montarán todos los equipos y transmitirán sus datos hacia un software en la PC para su análisis y procesamiento de información.
- **Procesamiento de datos:** Las señales obtenidas de los medidores de energía deben ser normalizados y trasladados a unidades de ingeniería para poder monitorear el sistema de forma correcta.
- **Resultado:** Determinación del rendimiento y balance energético del sistema en base a los datos obtenidos para su posterior análisis.

5.5.2 Arquitectura del proyecto

En la figura 19 se muestra la estructura del sistema en cuanto a obtención de datos, comunicación, control de carga y procesamiento de información para el monitoreo de un generador Híbrido. El plano de conexionado se lo encuentra en el Anexo 10.

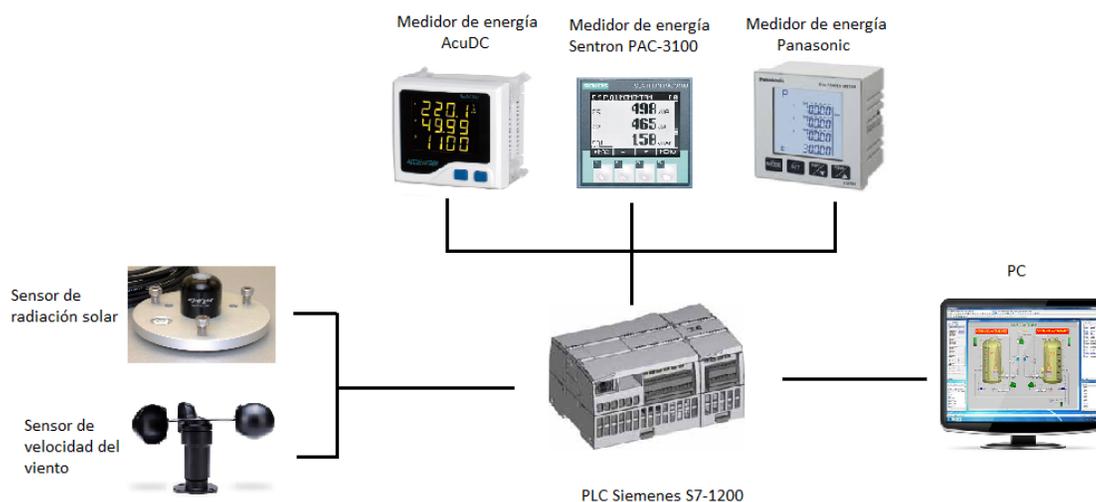


Figura 19. Arquitectura del Proyecto

5.6 Criterios de selección de equipos

Los criterios que se deben tomar en consideración para seleccionar correctamente los equipos están relacionados con rangos de medición de variables, tipo de alimentación, tipo de conexión, ubicación de instalación, tipo de salida que proporciona, según la necesidad del sistema.

5.6.1 Selección del medidor de energía para los paneles fotovoltaicos

Para seleccionar el medidor de energía que se adapte al sistema se toma en cuenta el rango de medición tomados de la tabla 6, ya que la medición se realiza en corriente directa. Adicionalmente se necesita que el equipo disponga de un protocolo de

comunicación compatible con el protocolo manejado por el PLC, y que el equipo permita configurar manualmente los parámetros nominales del sistema.

Especificaciones técnicas de medidores de energía eléctrica (DC)

Tabla 8

Medidores de energía DC

EQUIPO	ACU-DC 240	NANO DC
		
ALIMENTACIÓN	120/240 Vac	80-260 V ac/dc
MEDICIÓN DE VOLTAJE	0-1200 Vdc	0-600 Vdc
MEDICIÓN DE CORRIENTE	0-50000 Adc	0-15000 Adc
MEDICIÓN DE POTENCIA	0-60000 KW	9000 Kw
MEDICIÓN DE ENERGÍA	0-9999999,99 kWh	0-9999 kWh
ENTRADA DE CORRIENTE	Transductor	Shunt
PRECISIÓN	0,20%	0,20%
COMUNICACIÓN	Modbus RTU	Modbus RTU

a) Análisis de la elección

Para elegir correctamente el equipo de medición se toma en cuenta la tabla 8, donde se describe las características técnicas de dos diferentes tipos de medidores, de los cuales el medidor que mejor se ajusta a este proyecto es el ACUDC 240, el mismo que mide voltaje, corriente, potencia y energía con una precisión del 0.2%, posee mayor rango de medición en comparación con el medidor de energía Nano DC. El tipo de

comunicación RS485 Modbus RTU, será el indicador base del protocolo que regirá a todo el sistema.

b) Especificaciones técnicas de medidores de energía ACU Energy

Tabla 9

Características técnicas ACU-DC 240

Parameter	Accuracy	Resolution	Range
Voltage	0.2%	0.001V	0~1200V
Current	0.2%	0.001A	0~±50000A
Power	0.5%	0.001kW	0~±60000kW
Energy	0.5%	0.01kWh	0~9999999.99kWh
Drift with Temperature	<100ppm/°C		
Stability	0.5%/year		
Power Supply			
Input	(P1) 100-240Vac, 50/60Hz, 100-300Vdc (P2) 20-60Vdc		
Consumption	3W (typical value)		
Current			
Input Range	0~±10A(Direct Input, pick up current 0.01A) 0~±50000A(Via Shunt or Hall Effect Sensor, programmable range)		
Shunt	50~100mV(programmable)		
Hall Effect Sensor	0~±5V/0~±4V, 4~20mA/12mA±8mA		
Power Consumption	2W(Max)		
Accuracy	0.2%		
Communication			
Type	RS485, half duplex, Optical Isolated		
Protocol	Modbus-RTU		
Baud rate	1200~38400bps		
Isolation Voltage	2500Vac		

El Medidor de energía ACU-DC puede ser utilizado para monitoreo y control de sistemas CC, éste tipo de medidores pueden medir una amplia gama de parámetros mostrados en la tabla 9, como voltaje, corriente, potencia y energía, soporta la medición de corriente bidireccional y contiene una función de alarma en caso de sobrecarga de corriente o de tensión. En cuanto a comunicación, todos los datos del medidor pueden ser accesibles mediante vía RS485 Modbus RTU. Los datos también pueden ser

visualizados en tiempo real a través de su pantalla LCD de 3 líneas en frente del medidor. Las características técnicas detalladas se encuentra en el Anexo 3 (AcuEnergy, 2018).

Dentro de las aplicaciones de esta gama de medidores de energía se encuentra lo siguiente:

- Sistemas Solares Fotovoltaicos
- Sistemas de Control Industrial DC
- Industrias metalúrgicas y galvánicas
- Generación de Energía Eólica
- Sistemas de excitación de CC
- Sistemas de Tránsito Ferroviario Ligero
- Monitorización de carga de EV
- Centro de datos
- Monitoreo de Energía de Torres Celulares

c) Implementación del medidor de energía ACU-DC 240

El medidor de energía ACU-DC 240, mostrado en la figura 20, será implementado en un armario metálico en el cual estará fijado con vista hacia la parte externa de la tapa, para la visualización de los parámetros. Las señales de voltaje que ingresa al medidor de forma directa tienen un rango de 0-60 Vdc, si se desea medir voltajes mayores será necesario utilizar transductores de potencial, en este caso se adquiere la señal de voltaje en forma directa mediante conductores conectados en paralelo con los paneles fotovoltaicos. Para la medición de corriente éste equipo dispone de diferentes formas de muestreo, como se observa en la tabla 9, debido a la disponibilidad del producto en el mercado, se seleccionó una entrada de 0-5V.



Figura 20. Medidor de Energía ACU-DC 240

Fuente: (AcuEnergy, 2018)

d) Selección del sensor para entrada de corriente al medidor ACU-DC 240

De acuerdo a la selección del medidor de energía para corriente directa, se puede notar que la entrada de corriente que admite éste equipo es de 0-5V, por lo que se debe acondicionar su señal y elegir el sensor de corriente adecuado tomando en cuenta la tabla 10.

Tabla 10

Sensores de corriente

EQUIPO	TRANSDUCTOR SENECA T201	SHUNT
		
ALIMENTACIÓN	6-40Vdc	-
RANGO DE MEDICIÓN	0-40 Adc	0-15 A dc
SEÑAL DE SALIDA	4-20 mA	0-75 mV dc

Dado que el medidor de energía ACU-DC 240, necesita un sensor de corriente con una señal de salida normalizada y un amplio rango de medición, se elige el transductor de corriente Seneca T201, el mismo que posee deep switch mostrado en la tabla 11 para

seleccionar el rango de medición con una salida normalizada de 4-20 mA. Las características técnicas de éste transductor se los encuentra en el Anexo 4.

Tabla 11

Deep Switches transductor Seneca T201

DIP-switches															
Capacidad						Filtro									
DIP-SWITCH	1	2	3				DIP-SWITCH	1	2	3	DIP-SWITCH	4			
					0..5 A	•							-5..5 A	•	Filtro introducido
			•		0..10 A	•			•				-10..10 A		filtro no introducido
		•			0..20 A	•		•					-5..20 A		
		•	•		0..40 A	•		•	•				-10..40 A		

Fuente:(Seneca,2015)

e) Acondicionamiento de señal para entrada de corriente

El medidor de energía ACU DC-240, mostrado en la figura 20, adquiere la señal de corriente en un rango de 0-5 Vdc, por lo que es necesario transformar la señal de corriente 4-20 mA proveniente del Transductor Seneca T201, a una señal de voltaje. Existen diferentes instrumentos capaces de realizar ésta transformación. Debido a la disponibilidad inmediata en el mercado se utilizará el convertidor I/V en base a circuitos integrados lógicos el mismo que se muestra en la figura 21. Las características técnicas del convertidor se muestran en la tabla 12.

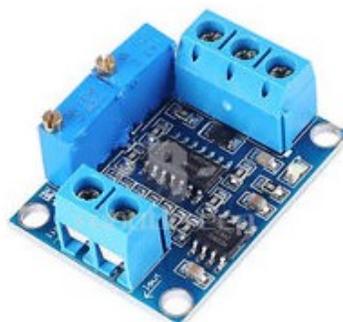


Figura 21. Convertidor corriente-voltaje

Fuente:(Ebay,2015)

Tabla 12

Características técnicas convertidor corriente-voltaje

PARÁMETRO	RANGO
ALIMENTACIÓN	7-35 Vdc
SEÑAL DE SALIDA	0-2.5V, 3.3V,5V,10V,15V
SEÑAL DE ENTRADA	4-20 mA

5.6.2 Selección del medidor de energía para el generador eólico

Para seleccionar correctamente el medidor de energía que se adapte a las condiciones de funcionamiento del generador eólico, es necesario tomar en consideración sus parámetros eléctricos de salida mostrados en la tabla 6, por lo que es necesario implementar un equipo dedicado a energía renovable ya que la mayor parte de medidores utilizados en la industria trabajan a una frecuencia de 50/60 Hz.

Tabla 13

Características técnicas medidores de energía AC

EQUIPO	SETRON PAC-3100	PANASONIC KW9M
		
ALIMENTACIÓN	120/240 Vac	120/240 Vac
VOLTAJE	0-480 Vac	0-99999 Vac
CORRIENTE	0-5 A	0-99999 A
FRECUENCIA	45-60 Hz	0-99,99 Hz
THD CORRIENTE	-	0-400
THD VOLTAJE	-	0-400
INTERFAZ	RS485 MODBUS RTU	RS485 MODBUS RTU

a) Análisis de la elección

De acuerdo con las características técnicas de los medidores de energía mostrados en la tabla 13, se puede determinar que el KW9M es el que mejor se ajusta al sistema, debido a que tiene la característica de medición de energía a bajas frecuencias, ideal para monitoreo de una turbina eólica.

Características técnicas medidor KW9M-A

Tabla 14

Características técnicas medidor Panasonic KW9M-A

Modelo			Estándar	Avanzado			
Item	Unid.	Rango de datos	Víctual	Víctual	Máximo	Mínimo	
Potencia Instantánea	Activa kW	-99999 a 0,000 a 99999	●	●	●	●	
	Reactiva kvar						
	Aparente kVA						
Potencia Integral (consumida)	Activa kWh	0,00 a 9999999,9	●	●	—	—	
	Reactiva kvarh						
	Aparente kVAh						
P. Integral para cada periodo (4 periodos) (consumida)	Activa kWh	0,00 a 9999999,9	—	●	—	—	
	Reactiva kvarh						
	Aparente kVAh						
P. Integral para cada periodo (4 periodos) (producida)	Activa kWh	0,000 a 9999999,9	●	●	—	—	
	Reactiva kvarh						
	Activa kWh						
P. Integral para cada periodo (4 periodos) (producida)	Activa kWh	0,000 a 9999999,9	—	●	—	—	
	Reactiva kvarh						
	Activa kWh						
Corriente	A	Estándar: 0,000 a 8000,0	●	●	●	●	
	Fase N para 3P4W	A	Avanzado: 0,000 a 99999	—	●	●	●
Tensión (de fase y línea)	V	0,00 a 99999	●	●	●	●	
Factor de Potencia		-1,000 a 0,000 a 1,000	●	●	●	●	
Frecuencia	Hz	0,00 a 99,99	●	●	●	●	
Valor de conteo de pulsos		0,000 a 99999999	—	●	—	—	
Valor de conversión de Potencia	Total	0,000 a 99999999	—	●	—	—	
	Para cada periodo						
Temperatura	Grados C°	-100,0 a 100,0	●	●	—	—	
Calendario		De 00:00:00 del 1 de Enero de 2000 a 23:59:59 del 31 de Diciembre de 2099	—	●	—	—	

Fuente: (Panasonic, 2013)

b) Medidor de energía Panasonic KW9M-A

El medidor de energía KW9M de la serie Eco Panasonic, es ideal para utilizarlo en ambientes Industriales dónde se maneje media y baja tensión, pudiendo ser sistemas a

3 hilos o sistemas a 4 hilos, además es ideal para monitorear la eficiencia energética visualizando todos los parámetros eléctricos como voltajes, corrientes, potencias, energías, frecuencia, factor de potencia y THD, a más de la capacidad de detectar cargas desequilibradas. Sus características técnicas detalladas se encuentran en el Anexo 5 (Panasonic, 2013).

El medidor KW9M tiene la capacidad de medir energía en ambas direcciones es decir la energía producida y consumida con un rango de medición desde 1mA de corriente hasta 999A utilizando transformadores de corriente 1A/5A, ayudando a determinar la energía consumida por máquinas en estado Standby, y proporciona una interfaz de comunicación RS485 Modbus RTU, garantizando el intercambio de información de manera rápida y eficaz.

De acuerdo a las características técnicas, parámetros de medición y rangos de medición mostrados en la tabla 14, un dato importante es la frecuencia, en este caso el medidor KW9M ofrece un rango entre 0-99,99 Hz, siendo ideal para monitorear una turbina eólica, a comparación de otros equipos disponibles en el mercado como el Sentron PAC de la marca Siemens que ofrece el mismo tipo de mediciones únicamente a una frecuencia de 50/60 Hz, por lo que no es posible utilizarlo para monitorear el sistema Eólico.

c) Implementación del medidor de energía KW9M-A

El medidor de energía mostrado en la figura 22 se instalará en un armario de metal con vista hacia la parte externa para configurar y visualizar las mediciones eléctricas de la turbina eólica en la pantalla LCD. Las señales de voltaje que llegan al medidor de energía se conectan en paralelo a los conductores de salida del generador eólico, y las señales de corriente se adquiere mediante dos transformadores de corriente 40/5 A conectado en las líneas L1 y L3. A partir de las señales de voltaje y corriente se obtiene la potencia, energía, factor de potencia, e incluso los armónicos del sistema.



Figura 22. Medidor de Energía Panasonic KW9M

Fuente: (Panasonic, 2013)

d) Selección del transformador de corriente para el generador eólico

Para la medición de corriente en el generador Eólico, es necesario utilizar dos transformadores de corriente (TC), los cuales disminuyen su magnitud y la transforma en una corriente más pequeña, así se podrá conectar el secundario del TC al medidor de energía Panasonic KW9M, para que el equipo pueda realizar la medición de forma correcta y pueda estar protegido de sobre corrientes originadas en el sistema.

Tabla 15

Transformadores de corriente para AC

EQUIPO	TC CAMSCO	TC SCHNEIDER
		
CORRIENTE DEL PRIMARIO	40 A	40 A
CORRIENTE DEL SECUNDARIO	5A	5A
POTENCIA	1,25 VA	2,5 VA

El sistema requiere transformadores de corriente capaces de soportar una corriente de 36 A en el lado primario, por lo que tomando en cuenta la tabla 15, se elige el TC Camsco 40/5 A por la disponibilidad inmediata en el mercado.

5.6.3 Selección del medidor de energía para la carga eléctrica

Para seleccionar correctamente el medidor de energía que permitirá monitorear la carga eléctrica del sistema, es necesario tomar en consideración los parámetros de la tabla 6. Todos los datos son importantes para el monitoreo del sistema, por lo que será necesario implementar un contador de energía diseñado para trabajar en ambientes industriales y brinde confiabilidad en sus mediciones.

Tabla 16

Características técnicas medidores de energía AC

EQUIPO	SENTRON PAC-3100	SENTRON PAC-3200
		
ALIMENTACIÓN	120/240 Vac	120/240 Vac
VOLTAJE	0-480 Vac	0-480 Vac
CORRIENTE	0-5 A	0-5A
FRECUENCIA	45-60 Hz	45-60 Hz
INTERFÁZ	RS485 MODBUS RTU	Ethernet

a) Análisis de la elección

De acuerdo a las características técnicas de los medidores de energía presentados en la tabla 16, es importante tomar en cuenta que la interfaz de comunicación requerida para el proyecto es RS485 Modbus RTU, en éste caso el equipo que cumple con lo

indicado es el Sentron Pac-3100, de rápida disponibilidad en el mercado y fácil instalación en el sistema de generación híbrido.

Tabla 17

Características técnicas SENTRON PAC-3100

SETRON PAC-3100	
RANGOS DE TENSIÓN	L-N 58...277 V AC TRMS
	L-L 100...480 V AC TRMS
RANGO DE CORRIENTE	1/5A AC
RANGO NOMINAL	100...240 V AC (45-65 Hz)
POTENCIA ABSORBIDA	5W DC/10 VA AC
ENTRADAS DIGITALES	2
SALIDAS DIGITALES	2
COMUNICACIÓN	RS485 Modbus RTU
CONFIGURACIÓN	4 teclas de Función o Software
TEMPERATURA	-10...+55 °C
PROTECCIÓN	IP 65

Los medidores de energía de la gama Siemens Sentron PAC, con especificaciones mostradas en la tabla 17 se pueden emplear en todos los lugares de distribución de energía eléctrica en un ambiente industrial, el medidor Sentron PAC – 3100 capta una gama de valores como voltajes de fase, voltajes de línea, corrientes, potencias y energía presentándolos en una pantalla LCD. Tiene la capacidad de comunicarse con otros equipos, mediante un puerto de comunicación RS485 Modbus RTU. Las mediciones que realiza satisfacen a requerimientos fijados por las normas vigentes. Para más información del medidor de energía Sentron PAC-3100, revisar Anexo 6.

b) Implementación del medidor de energía Siemens Sentron PAC – 3100

El medidor de energía mostrado en la figura 23, se instalará en un armario de metal de 60 x40 cm, con vista hacia la parte externa. Las señales de voltaje se obtendrán de una conexión en paralelo a la salida del inversor y la señal de corriente se obtendrá por medio de un transformador de corriente de 30/5 A, instalado en la fase de la salida del inversor. Antes de arrancar el sistema será necesario configurar los parámetros de funcionamiento del equipo como tipo de conexión, niveles de voltaje y corriente para que la medición que proporciona el equipo no tenga ningún error.



Figura 23. Medidor de Energía SENTRON PAC-3100

Fuente: (Siemens, 2009)

c) Selección del transformador de corriente para medición de corriente en la carga

La carga eléctrica actual conectada al generador híbrido tiene una potencia nominal de 50W, 120V y una frecuencia de 60 Hz, por lo que es necesario incorporar un TC para reducir la magnitud de corriente en el primario sin tener que hacer cambios cuando se incrementa la carga por alguna circunstancia, para lo cual se hará uso de la tabla 15.

Tabla 18

Transformadores de corriente para la carga eléctrica

EQUIPO	TC CAMSCO	TC SCHNEIDER
		
CORRIENTE DEL PRIMARIO	30 A	40 A
CORRIENTE DEL SECUNDARIO	5A	5A
POTENCIA	1,25 VA	2,5 VA

De acuerdo con la tabla 18, por la disponibilidad en el mercado se selecciona el TC CamSCO 30/5 A, el mismo que es adecuado incorporarlo al sistema de generación Híbrido.

5.7 Selección del controlador para el sistema

El sistema requiere un PLC con una CPU capaz de cumplir las necesidades mostradas en la tabla 6, que permita adquirir datos de tres equipos de medición implementados en el sistema Híbrido, mediante el protocolo de comunicación RS485 Modbus RTU seleccionado previamente en la sección 5.6.1, con un software de programación que satisfaga las necesidades del sistema y brinde flexibilidad y confiabilidad.

Tabla 19*Controladores industriales*

EQUIPO	SIEMENS S7-1200 1212AC/DC/RLY	SIEMENS S7-1200 1214AC/DC/RLY
		
ALIMENTACIÓN	120 V AC	120 V AC
ENTRADAS ANALÓGICAS	2 En el rango 0-10V	2 En el rango 0-10V
ENTRADAS DIGITALES	8	14
SALIDAS DIGITALES	6	10
COMUNICACIÓN	Ethernet	Ethernet
MODULOS DE COMUNICACIÓN	RS 232/485	RS 232/485
INTERFAZ HMI	HMI PC SYSTEM	HMI PC SYSTEM

a) Análisis de la elección

La tabla 19 muestra las características de dos tipos de controladores, de los cuales se elige el PLC Siemens S7-1200, ya que posee una interfaz gráfica que permite visualizar el proceso de forma directa sin la necesidad de montar una pantalla externa, además cuenta con la capacidad de incorporar módulos de comunicación que permiten adquirir las señales por vía serial RS485.

La gama de PLCs Siemens S7-1200 ofrece un sinnúmero de características mostradas en la tabla 20, para controlar cualquier tipo de proceso, el PLC con la CPU 1212C AC/DC/Rly, tiene alimentación en AC, sus entradas en DC y sus salidas a Relé. Con éste tipo de PLC se puede adquirir los datos y controlar la carga producida por un generador híbrido de manera rápida y eficaz obteniendo los parámetros del sistema en tiempo real.

Características técnicas PLC Siemens S7-1200

Tabla 20

Características Técnicas PLC S7-1200

Función	CPU 1212C
Dimensiones físicas (mm)	
Memoria de usuario	
<ul style="list-style-type: none"> • Memoria de trabajo • Memoria de carga • Memoria remanente 	
E/S integradas locales	
<ul style="list-style-type: none"> • Digitales • Analógicas 	<ul style="list-style-type: none"> • 8 entradas/6 salidas • 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para salida
Área de marcas (M)	
Ampliación con módulos de señales	2
Signal Board	
Módulos de comunicación (zquierdo)	
Contadores rápidos	
<ul style="list-style-type: none"> • Fase simple • Fase en cuadratura 	<ul style="list-style-type: none"> 4 • 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz • 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz

Fuente: (Siemens, 2015)

El PLC de la gama Siemens S7-1200 ofrece flexibilidad y capacidad de controlar una gran cantidad de procesos en el área de automatización con su diseño compacto y la capacidad de ampliación. Incorpora una CPU con un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entradas y salidas en la misma carcasa compacta. La CPU se encarga de vigilar las entradas y cambiar el estado de las salidas de acuerdo a la lógica de programación introducida por el usuario, además ofrece protección por medio de contraseña como seguridad al acceso de funciones. Los módulos de comunicación están disponibles para configurar redes RS232 o RS485. Sus características detalladas se las encuentra en el Anexo 7 (Siemens, 2015).

5.7.1 Implementación del controlador en el sistema

El PLC que se muestra en la figura 24, será implementado en el interior de un armario de metal, fijado sobre un riel DIN. Las señales de cada uno de los medidores de energía implementados en el sistema se unirán a una red profibus y transmitirán sus datos hacia

el módulo de comunicación para el análisis de señales en la CPU del PLC y presentarlos en unidades de ingeniería en el sistema Scada.



Figura 24. PLC Siemens S7-1200

Fuente: (Siemens, 2015)

5.7.2 Implementación del módulo de comunicación RS-485 Siemens

El módulo de comunicación que se observa en la figura 25, es un módulo de ampliación que ofrece la gama de PLC's Siemens S7-1200, el cual será montado junto con el PLC sobre un riel DIN, indispensable para poder crear una red de tipo serial y trasladar datos desde los medidores de energía hacia el controlador mediante Modbus RTU. Este módulo se adapta fácilmente al sistema de generación híbrido y se lo configura por medio del software Step7.



Figura 25. Módulo de Comunicación 485 Siemens

Fuente:(Siemens, 2015)

5.8 Selección del medidor de irradiancia solar

Para el monitoreo del sistema de generación Híbrido es necesario medir la irradiancia solar, para determinar la energía teórica que podría obtenerse de los paneles solares, y así obtener la eficiencia de estos. Es importante tener en cuenta que normalmente la irradiación solar máxima se encuentra en los 1000 W/m^2 - 1300 W/m^2 para la elección correcta del instrumento de medición.

5.8.1 Especificaciones técnicas de sensores de irradiancia solar

Tabla 21

Especificaciones de los medidores de irradiancia Solar

EQUIPO	SP 110	SR-01
		
ALIMENTACIÓN	-	-
SENSIBILIDAD	0,2 mV por W	0,5 mV por W
LINEALIDAD	Desviación del 1% hasta 1750 W/m ²	Desviación del 2% hasta 1000 W/m ²
DEPENDENCIA DE TEMPERATURA	+/- 0.04% por °C máximo	+/-0.02% por °C máximo
RANGO DE MEDICIÓN	0-2000 W/m ²	0-2000 W/m ²
DETECTOR	Silicio	Silicio
CAMPO DE VISIÓN	180°	180°
RANGO ESPECTRAL	360nm a 1120 nm	400 nm a 1100 nm

5.8.2 Análisis de la elección

De acuerdo con la tabla 21 se puede notar que los dos sensores cumplen con los requerimientos del sistema, para nuestra aplicación se elige el SP110, por su

disponibilidad en el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

5.8.3 Implementación del piranómetro SP-110

El sensor de irradiación solar SP-110 de la gama Apogee cuyas características se las encuentra en el Anexo 8, es un instrumento de celda de silicón que mide la intensidad de la energía solar con precisión y confiabilidad, apto para monitoreo de irradiancia global. Este tipo de instrumento está formado de una célula de silicio de fotodiodo, proporcionando una excelente respuesta.

Este instrumento se instalará sobre la estructura de metal con un volado de 50 cm y su salida se conectará por medio de un amplificador de voltaje a una entrada analógica del PLC mediante un conductor de tres hilos apantallado, para normalizar y escalar su medición hasta presentarlo en unidades de ingeniería en el sistema Scada.

5.8.4 Acondicionamiento de señal para el sensor SP 110

Dado que el sensor de radiación emite una señal pequeña (mV), es necesario amplificar la señal antes de ingresar a la entrada analógica del PLC, para que no exista error en la medición, por lo que se diseña un amplificador de voltaje con una señal de salida de 5V como se muestra en la figura 26.

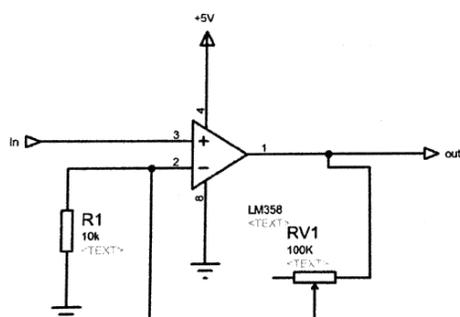


Figura 26. Amplificador de Voltaje

5.9 Selección del medidor de velocidad del viento

Para seleccionar el medidor de velocidad de viento adecuado es necesario tomar en consideración el rango de medición necesario, en este caso la velocidad máxima del sistema es de 9.8 m/s como se muestra en la figura 18, por lo que es importante que el instrumento de medición tenga la capacidad de medir velocidades mayores para evitar que el instrumento se dañe en caso de sobrepasar la velocidad nominal del sistema.

5.9.1 Características técnicas de medidores de velocidad del viento

Tabla 22

Características de medidores de velocidad del viento

EQUIPO	LSYS	WAA151
		
INTERFAZ DE SALIDA	Voltaje	Señal Digital
SEÑAL DE SALIDA	0-5 V	Onda cuadrada de 0-750 Hz
ALIMENTACIÓN	5-24 Vdc	24 Vdc
RANGO DE MEDICIÓN	0-30 m/s	0.4 – 75 m/s
RESOLUCIÓN	0.5 m/s	0.5 m/s
PRECISIÓN	+/-3%	+/- 2%
CONSUMO DE ENERGÍA	0.3W	0.2 W
MATERIAL	Aluminio Aleado	AlMgSi, gris anodizado
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	-40 – 80 °C	-50 – 55°C

5.9.2 Análisis de la elección

Analizando la tabla 22 que muestra las características técnicas correspondientes a los medidores de velocidad del viento, es importante tomar en cuenta que el PLC seleccionado en la sección 5.7 dispone de dos entradas analógicas, por lo que el sensor que mejor se ajusta al sistema es el LSYS, ya que presenta una salida analógica de 0-5 Vdc con un rango de medición 0-30 m/s, apto para instalarlo en el sistema de generación híbrido.

5.9.3 Implementación del medidor de velocidad del viento LSYS

El medidor de velocidad del viento con sus características detalladas en el Anexo 9, se instalará en un soporte de metal, ubicado a 6 metros de altura, entregando una señal de salida proporcional a la velocidad del viento, transmitiendo por medio de un conductor de tres hilos apantallado, hasta conectarse a la entrada analógica del PLC, en el cual se realizará el normalizado y escalado de la señal para trasladarlo a unidades de ingeniería.

5.10 Metodología para ejecutar la propuesta del proyecto

5.10.1 Diseño del sistema SCADA

El diseño del sistema SCADA inicia con la selección de equipos como medidores de energía tanto para el generador eólico como para el generador fotovoltaico, el controlador del sistema y los equipos analógicos para la medición de variables físicas, los mismos que ya fueron clasificados de acuerdo con las necesidades del sistema, incluyendo los acondicionamientos de señales que permiten monitorear todo el sistema de manera correcta. Posteriormente se procede a configurar cada uno de los equipos y programar el controlador para la adquisición de datos mediante el software TIA PORTAL. El proceso se puede observar en la figura 27.



Figura 27. Flujo grama del sistema Scada

1. Proceso Objeto de Control: Es el proceso que se desea monitorear, es decir el origen de los datos que se requieren extraer y analizar.
2. Dispositivos de Adquisición de Datos y de lógica de Control Programable: Son los equipos e instrumentos que permiten la recolección de la información obtenida del objeto de control.
3. Sistema de Adquisición y Control de Datos: Relación entre el hardware y software para la extracción y el procesamiento de la información entregada por los dispositivos de adquisición.
4. Clientes: Hace referencia a la interfaz que se presenta hacia el usuario en base a los datos manejados por el Scada, además de la entrega de un archivo creado con los mismos datos para su posterior análisis.

5.10.2 Configuración medidor de energía ACU-DC 240

Antes de poner en funcionamiento cada uno de los equipos, es necesario configurarlos en los valores nominales del sistema eléctrico, con el objetivo de obtener mediciones correctas y transmitir los datos en tiempo real. El medidor de energía ACU-DC 240 ofrece

una pantalla LCD con dos botones que permiten acceder a la configuración que se muestra en la tabla 23:

Tabla 23

Parámetros base ACU-DC 240

	Label	Parameters	Default	Options	Description	Note
Communication parameter setup	ADD	Communication address	1	1 - 247	The address can be any integer between 1-247	Assign different addresses to meters on same bus
	BPS	Baud Rate	19200	1200; 2400; 4800; 9600; 19200; 38400	Data Transmission Rate	All devices on the same communication bus must use the same baud rate
	CHEC	Parity	Non1	even; odd; non1; non2		All devices on the same communication bus must use the same parity
Shunt/Hall Effect Sensor Parameter Setup	I In	Current input of the shunt / hall effect sensor	20	20 - 50000A		Only indirect current measurement has this screen
	I o	Current output of the shunt	100	50 - 100mV		Corresponds to the output range of the shunt
Hall Effect Sensor Setup	1 P	output range of the current Hall Effect Sensor	0	0.1	0: 4-20mA/0-5V 1: 4-12-20mA/0-4V	
	U In	rated voltage of the Voltage Hall Effect Sensor		0 - 3000V		Only meter with indirect voltage measurement has this screen.
	U P	output range of the voltage Hall Effect Sensor	0	0.1	0: 0 - +5V; 1: 0 - +4V	

Fuente: (AcuEnergy, 2018)

- **ADD:** Muestra la dirección del equipo para su comunicación, la cual estará en el rango de 1-247, de acuerdo con la necesidad del usuario. Para el presente proyecto se tomará la dirección 20.
- **BPS:** Permite seleccionar la velocidad de comunicación con otros equipos, en éste caso el equipo está configurado a 19200 bps.
- **CHEC:** Selecciona el bit de paridad para la comunicación con otros equipos, se utilizará la configuración NON1 que corresponde a la configuración sin paridad.
- **I In:** Determina el valor máximo de la corriente, la misma que será medida mediante un transductor de corriente de efecto hall. Para éste caso se utilizará 40 A.
- **1P:** Identifica el tipo de señal que ingresará al equipo para medición de corriente, pudiendo ser, 0-5V o 0-4V. En éste caso el equipo utiliza una entrada de 0-5V.
- **U In:** Configura el rango de voltaje a medir en el sistema entre 0-3000V, en éste caso se configuró con el valor de 24 V.

5.10.3 Configuración medidor de energía Panasonic KW9M

La configuración del medidor de energía se realizará de forma manual en base al diagrama de funciones mostrado en la figura 28.

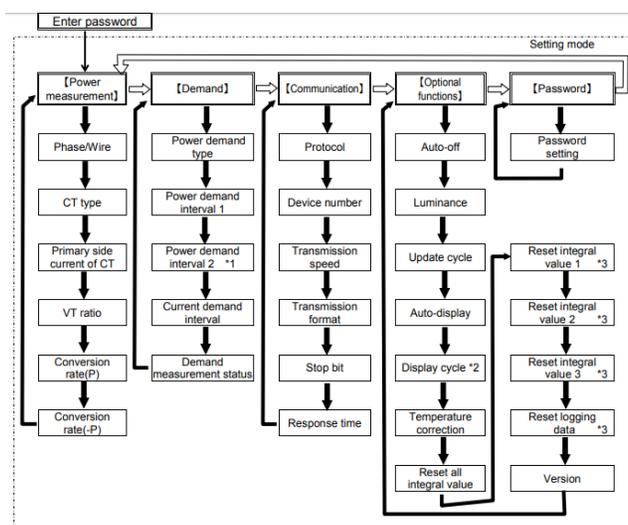


Figura 28. Funciones del medidor de energía KW9M

Fuente: (Panasonic, 2013)

- **CGA AGdr:** Permite introducir la dirección de esclavo en el equipo, en éste caso se utiliza la dirección 30.
- **SET PASS:** Esta función permite introducir una contraseña para ingresar a la edición de todos los parámetros del equipo, por defecto la contraseña es 0000.
- **PGY SYSt:** Configura el tipo de conexión del sistema: Monofásico a dos hilos (1P2Y), monofásico a tres hilos (1P3Y), trifásico a tres hilos (3P3Y) o trifásico a cuatro hilos (3P4Y), en éste caso se configura para que trabaje con el sistema trifásico a tres hilos (3P3Y).
- **PGY Ct-t:** Introduce el valor de corriente máxima del secundario al utilizar un transformador de corriente X/5 A o X/1 A, en éste proyecto se utilizará la configuración X/5 A.

- **PGY Ct-1:** Guarda el valor máximo de la corriente en el primario del TC, es decir la corriente máxima del sistema. Para el presente proyecto la corriente del primario será 40 A, por lo que se utilizará también un TC de 40/5 A.
- **PGY ut:** Configura el valor de voltaje al que trabaja el sistema. El sistema eólico tiene un valor nominal de 12V, por lo que se mantiene un valor predeterminado de 120V en el equipo de medición.
- **CGA PrGt:** Determina el tipo de comunicación Newtocol, Modbus(RTU) o 645. En este caso se utilizará comunicación Modbus(RTU) para transmitir los datos hacia el PLC.
- **CGA SPd:** Memoriza la velocidad de comunicación para el envío de información al PLC. Se utilizará una velocidad de 19200 bps.
- **CGA FAt:** Define el formato de transmisión de datos y su paridad, en éste caso se usa la configuración 8b-n, que corresponde a una comunicación sin paridad.

5.10.4 Configuración del medidor de energía SENTRON PAC-3100

El medidor de energía SENTRON PAC-3100 ofrece una pantalla iluminada, en la que se accede fácilmente a la configuración en idioma español, de todas las características que ofrece el equipo en la pestaña, ajustes parámetros base como se muestra en la figura 29.

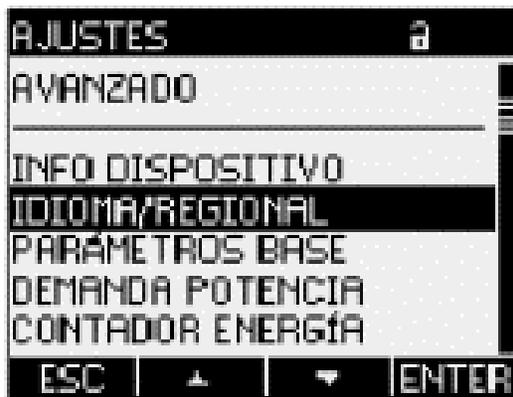


Figura 29. Interfaz de Configuración SENTRON PAC-3100

Fuente:(Siemens, 2009)

- **Ajustes-Comunicación-ID:** Permite introducir la dirección de esclavo, para éste proyecto se utiliza la dirección 10.
- **Entradas de Tensión:** Este parámetro permite configurar tanto el valor de entrada máxima de tensión, en éste caso 400V, así como el tipo de conexión 1P2W, monofásico a dos hilos.
- **Entradas de corriente:** Define el valor máximo de la corriente en el primario (30A), y la corriente en el secundario al utilizar un Transformador de corriente (5A).
- **Modbus RTU:** Configura la velocidad de comunicación, en este caso 19200 bps, y la dirección del equipo elegida por el usuario.

5.11 Configuración de los equipos que conforman el sistema SCADA en el software TIA PORTAL V14

5.11.1 Configuración del PLC para la adquisición de datos del sistema

Para iniciar con la configuración en el software Step7, crear un proyecto al cual se deberá nombrar y direccionar en una ruta como se observa en la Figura 30.

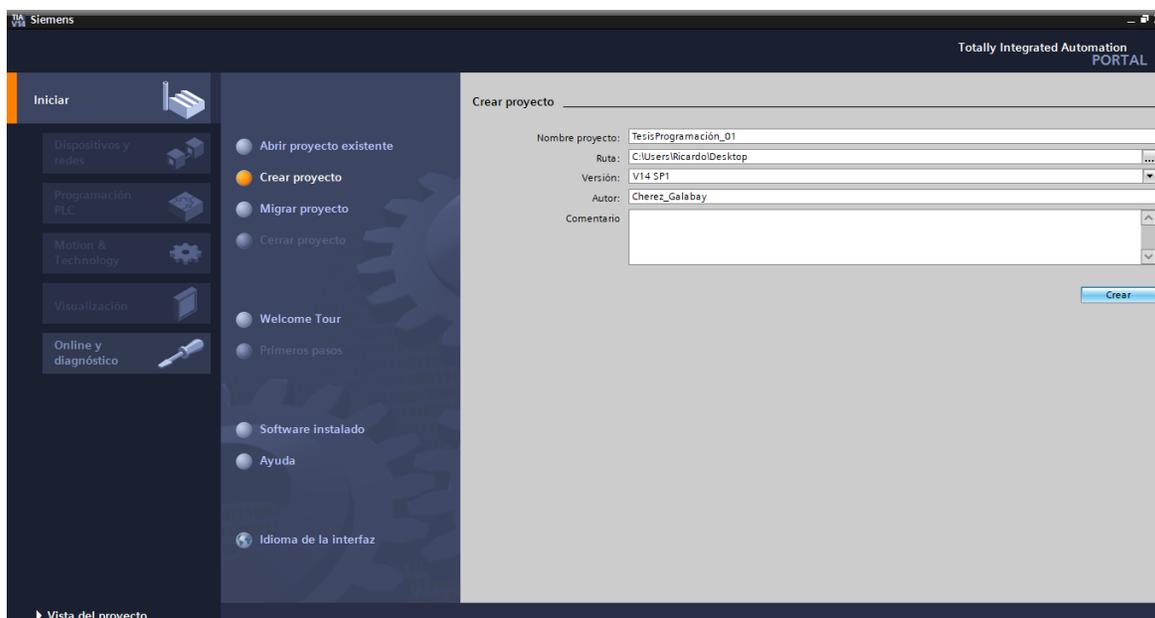


Figura 30. Creación de un nuevo Proyecto

Se procede a la configuración de los equipos para lo cual se ingresa a la pestaña dispositivos y redes, agregar dispositivo y en este caso usaremos un PLC S7-1200 sin especificar, versión V4.0 como se observa en la figura 31.

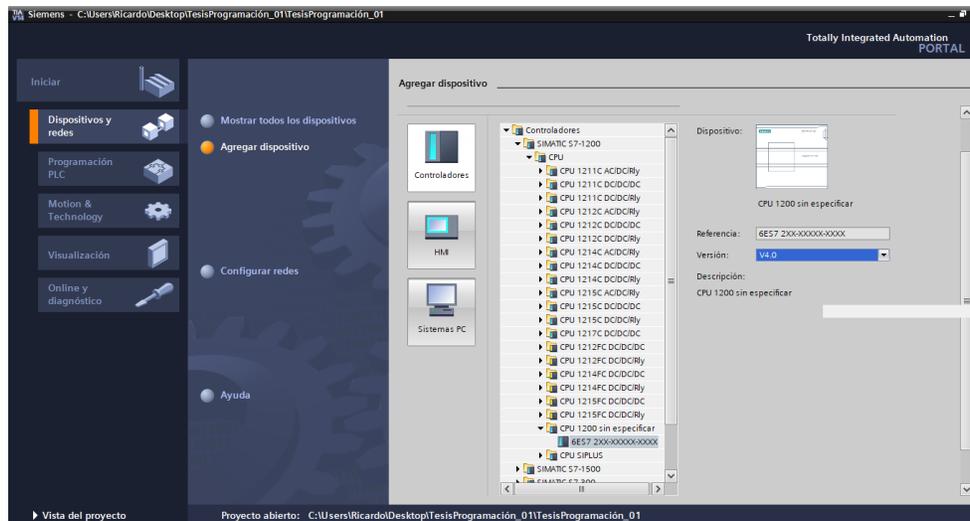


Figura 31. Elección de la CPU del PLC

Para detectar los equipos conectados, dar un clic en determinar como se muestra en la figura 32.

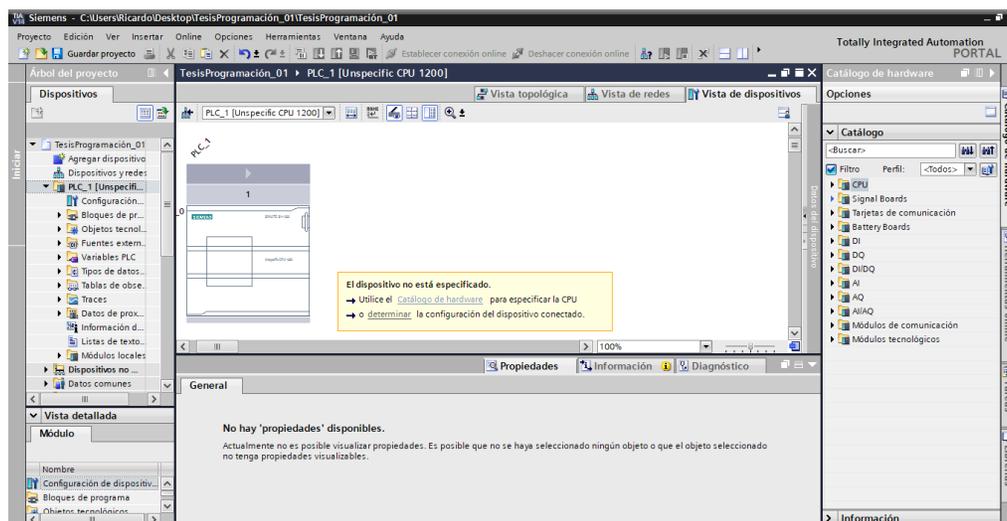


Figura 32. Detección automática del PLC

En la nueva ventana emergente mostrada en la figura 33 se inicia la búsqueda de los dispositivos, y se observa el PLC 1212 Ac/Dc/Rly con la dirección IP 192.168.0.5 el cual es usado en este proyecto.

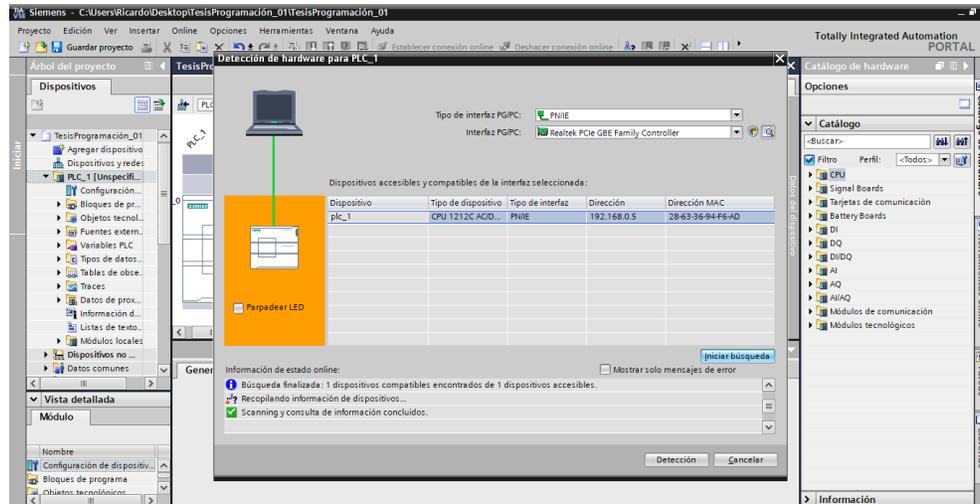


Figura 33. Búsqueda del PLC

A continuación, se detectan tanto el Cpu del Plc como el módulo de comunicación Modbus Rs 232/485 como se muestra en la figura 34.

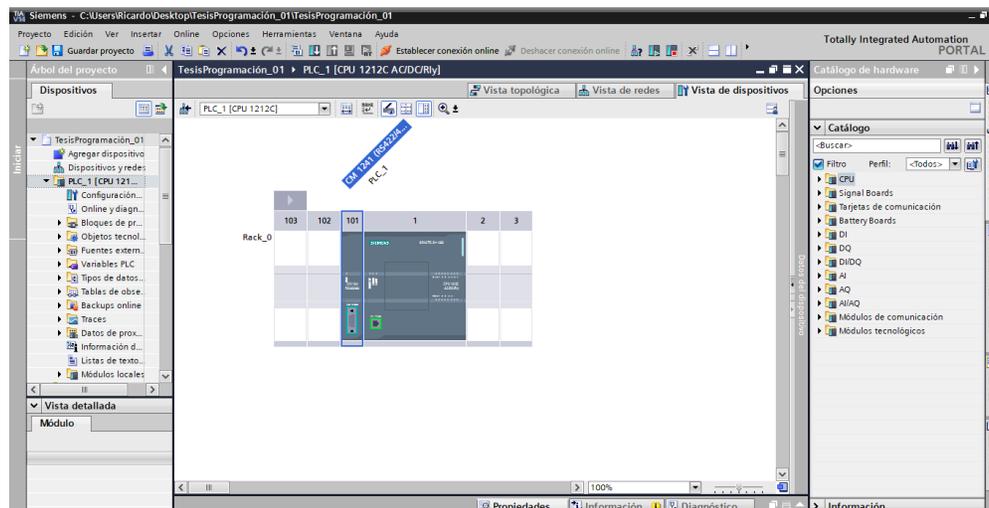


Figura 34. Detección del Módulo de Comunicación

A continuación, se realiza la configuración del PLC, activando los Bytes de marcas del sistema con la dirección de byte de marca con 1, y los bits de marca de ciclo con la dirección de byte de marca de ciclo 10 (ver figura 35).

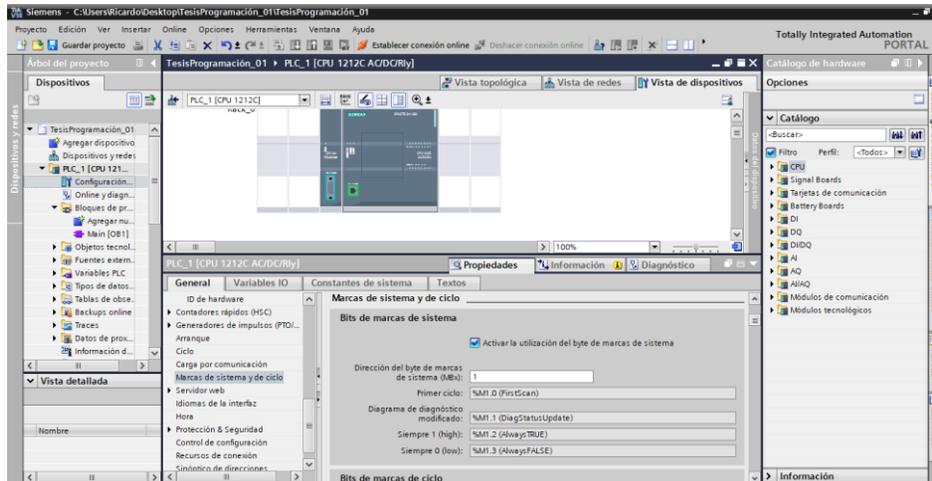


Figura 35. Activación de marcas del sistema

Ahora se procede a la configuración del módulo 485 en la pestaña IO-Link donde se deberá colocar la velocidad de transferencia en 19.2 Kbits, sin paridad, a 8 bits de datos, y a un bit de parada como se muestra en la figura 36.

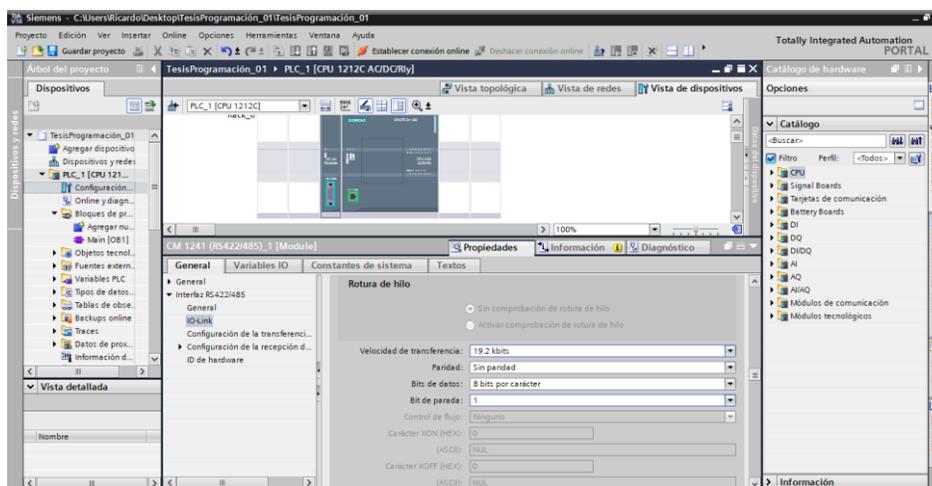


Figura 36. Configuración del módulo RS-485

5.11.2 Configuración del PC-System-HMI

En la Configuración de la PC para el reconocimiento del PC-System-HMI WINCC RT ADVANCED V14, como primer punto se necesita configurar la IP del computador con una dirección diferente a la del PLC, para lo cual se debe ingresar al panel de control, redes e internet y conexiones de red como se muestra en la figura 37.

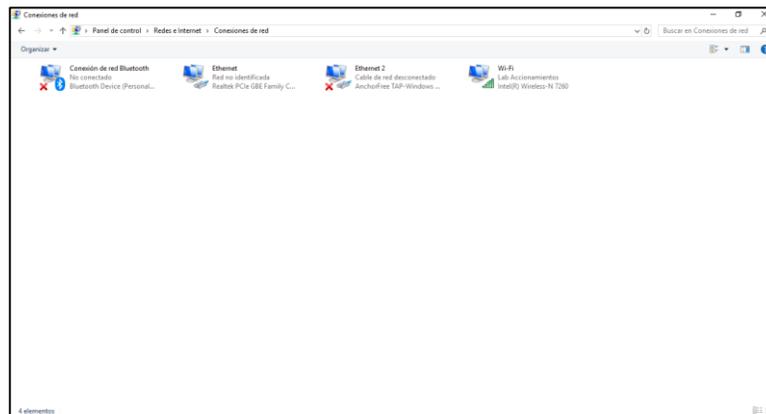


Figura 37. Configuración de la IP

En el icono Ethernet, dar clic derecho propiedades, en la opción habilitar el protocolo de internet versión 4 (TCP/IPv4), clic en propiedades y se introduce la IP elegida por el programador, para el computador como se muestra en la figura 38.

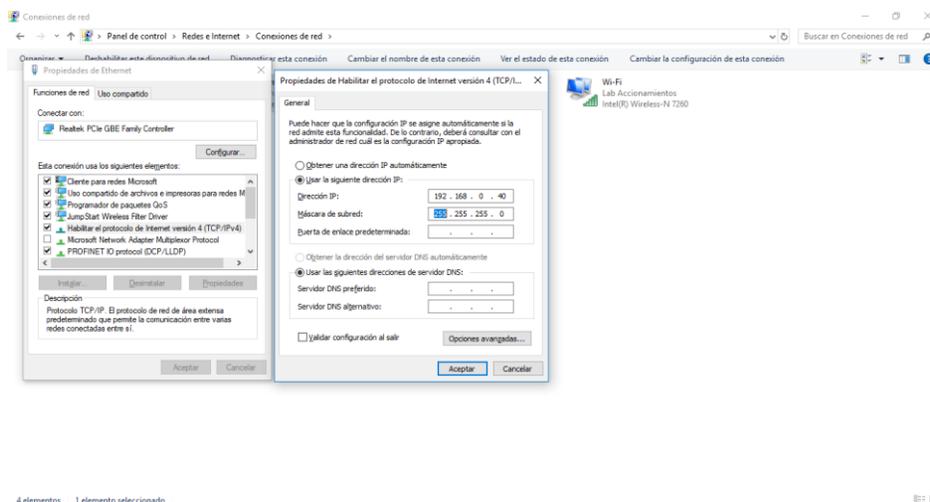


Figura 38. Activación de la IP

En la configuración del panel de control se busca el icono Ajustar Interface PG/PC (32 Bits) y seleccionar la tarjeta Realtek PCIe GBE Family Controller.TCPIP.1 la cual es la tarjeta de la Pc, ahora vemos que en el punto de acceso de la aplicación tenga S7ONLINE (STEP7), con el nombre de la tarjeta seleccionada como se muestra en la figura 39.

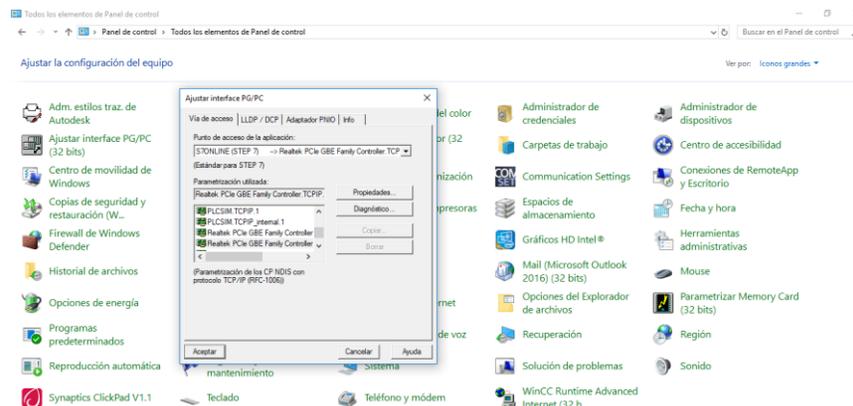


Figura 39. Configuración de tarjeta de comunicación

Para la configuración del WINCC RT ADVANCED, agregar un nuevo dispositivo en el programa ya creado, para lo cual en el menú izquierdo se encuentra la opción agregar dispositivo, en el icono Sistemas PC y en la pestaña SIMATIC HMI Application seleccionar WinCC RT Advanced como se muestra en la figura 40.

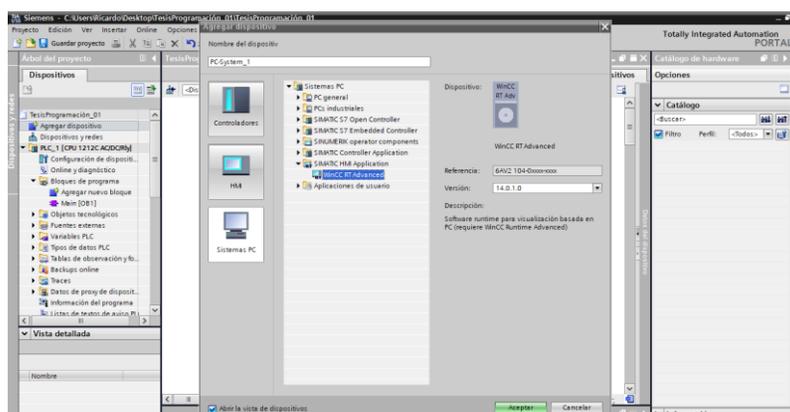


Figura 40. Configuración WinCC Advanced

Para la comunicación entre la Pc y el PLC se deberá agregar un módulo Ethernet en el WinCC Rt advanced para lo cual en la ventana de herramientas de la derecha se tiene la pestaña Communications Modules, donde seleccionaremos PROFINET/Ethernet y posteriormente seleccionaremos IE general como se muestra en la figura 41.

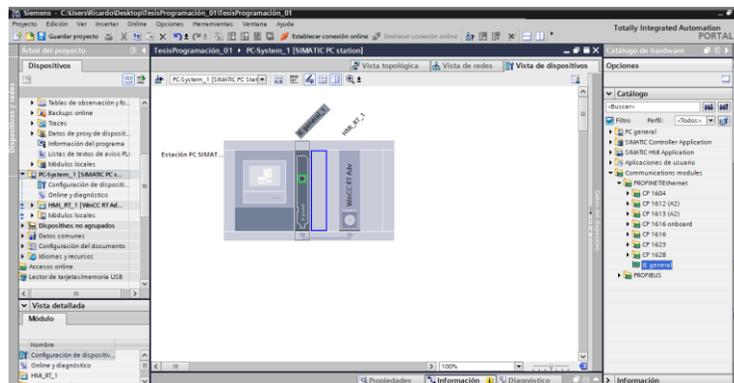


Figura 41. Configuración Red de Comunicación

Procedemos a la configuración de la comunicación para lo cual se ingresa en el módulo IE general, dentro de sus propiedades se muestra la pestaña Direcciones Ethernet, colocar la IP de la computadora, en este caso 192.168.0.40 como se muestra en la figura 42.

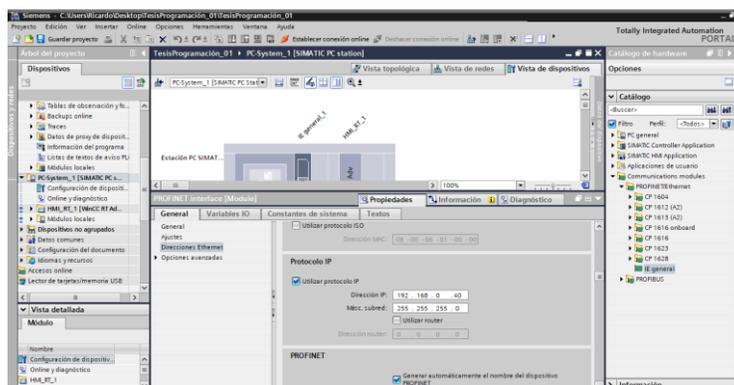


Figura 42. Dirección IP del PLC

Ahora prosigue la unión de los dos equipos, para lo cual en la pestaña Dispositivos y redes se puede encontrar el PLC como la estación del WinCC RT Advanced, ahora se unen los equipos de punto a punto de Ethernet y editaremos el nombre de dicha conexión como se muestra en la figura 43.

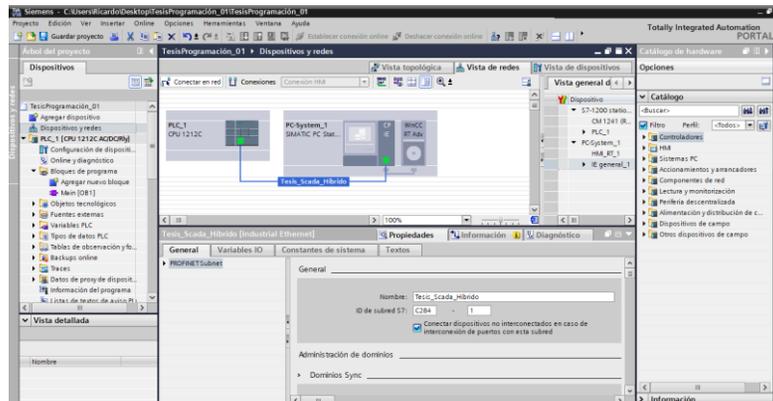


Figura 43. Unión de red PROFIBUS

5.12 Programación de los equipos que conforman el sistema SCADA utilizando el software TIA PORTAL V14

5.12.1 Programación para la adquisición de datos de los medidores de energía

Se utiliza un bloque de programación MB_COMM-LOAD ubicado en la pestaña Comunicación de la barra de instrucciones del Step7 como se muestra en la figura 44, y se procede a configurar los parámetros internos del bloque como muestra la tabla 24.

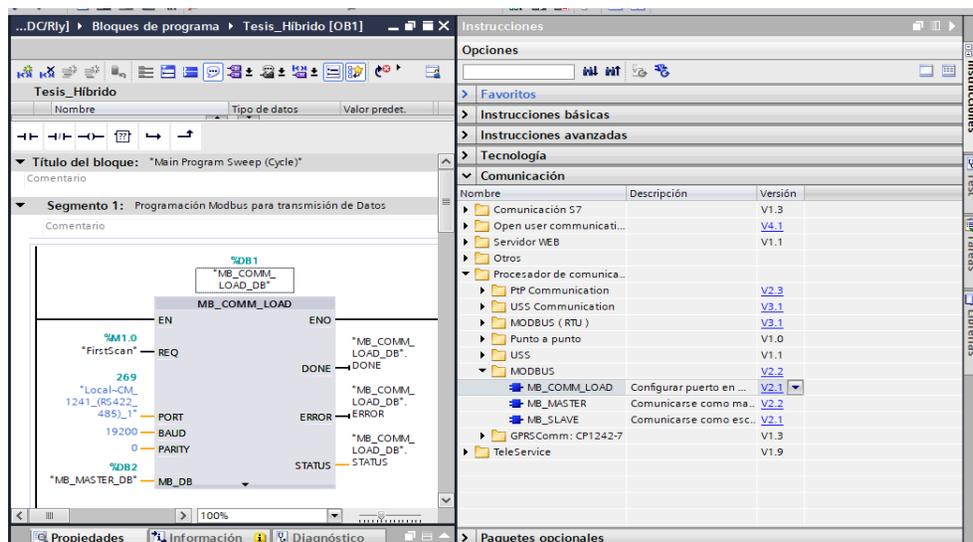


Figura 44. Bloque de Comunicación MB_COMM_LOAD

Tabla 24*Parámetros de configuración MB_COMM_LOAD*

Parámetro	Descripción	Configuración Utilizada
REQ	Ejecución del Bloque	M1.0 "FirstScan"
PORT	Identificación del puerto de comunicación	"Local~CM_1241_(RS422_485)_1"
BAUD	Selección de la velocidad de transferencia: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600.	19200
PARITY	Selección de la paridad: <ul style="list-style-type: none"> • 0 – Ninguna • 1 – Impar • 2 – Par 	0
MB_DB	Una referencia al bloque de datos de instancia de las instrucciones " <u>MB_MASTER</u> " o " <u>MB_SLAVE</u> ".	MB2 "MB_MASTER_DB"
DONE	Ejecución de la instrucción finalizada sin errores.	"MB_COMM_LOAD_DB".DONE
ERROR	Error	"MB_COMM_LOAD_DB".ERROR
STATUS	Código de error de la configuración del puerto	"MB_COMM_LOAD_DB".STATUS

Luego se procede a configurar el bloque de Comunicación MB_MASTER ubicado en la pestaña Comunicación de la barra de instrucciones del Step7 como se muestra en la figura 45 y se procede a configurar los parámetros internos del bloque como muestra la tabla 25.

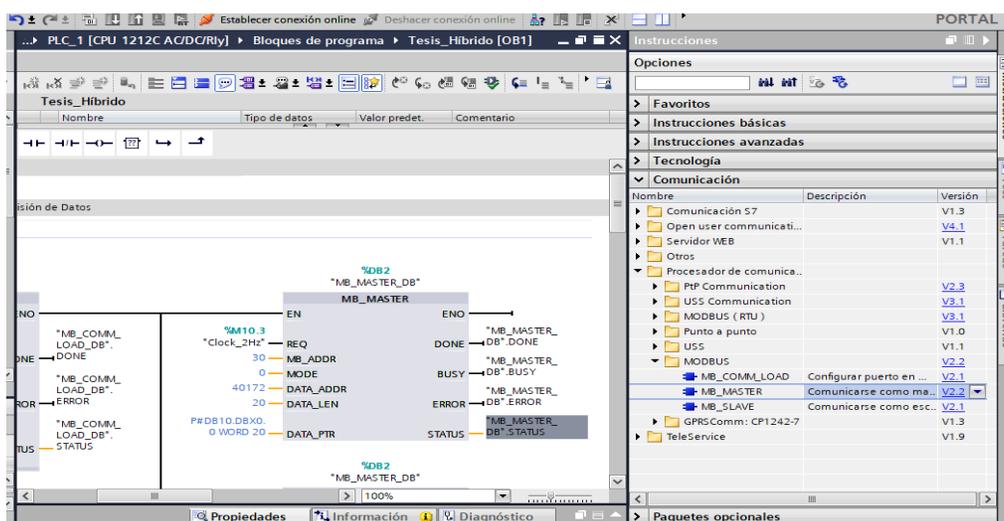


Figura 45. Bloque de Comunicación MB_MASTER

Tabla 25

Parámetros de configuración MB_MASTER

Parámetro	Descripción	Configuración Utilizada
REQ	Entrada de solicitud: <ul style="list-style-type: none"> 0 – Ninguna solicitud 1 – Solicitud de enviar datos a esclavo(s) Modbus 	M10.3 "Clock_2Hz"
MB_ADDR	Dirección de estación Modbus RTU: <ul style="list-style-type: none"> Área de direccionamiento estándar: 0 a 247 	Según el esclavo: Sentron PAC3100 = 10 ACU - DC = 20 KW9M = 30
MODE	Modo de selección: Indica el tipo de solicitud: lectura, escritura o diagnóstico	0 Leer bits
DATA_ADDR	Dirección inicial en el esclavo: indica la dirección inicial de los datos a los que se debe acceder en el esclavo Modbus.	Las direcciones válidas se pueden encontrar en la tabla de funciones Modbus. Usando la dirección Modbus entre 40001 a 49999 ó de 400001 a 465535
DATA_LEN	Longitud de datos: indica el número de bits o palabras a los que debe acceder esta solicitud.	Las longitudes válidas se pueden encontrar en la tabla de funciones Modbus.

CONTINÚA



DATA_PTR	Puntero hacia la dirección del DB o de la marca de la CPU de los datos que se deben escribir o leer.	P#DB10.DBX0.0 WORD 20
DONE	<ul style="list-style-type: none"> 0: Transacción no finalizada 1: Transacción finalizada sin errores 	"MB_MASTER_DB".DONE
BUSY	<ul style="list-style-type: none"> 0: No se está ejecutando ninguna transacción de "MB_MASTER" 1: Transacción de "MB_MASTER" en ejecución 	"MB_MASTER_DB".BUSY
ERROR	<ul style="list-style-type: none"> 0: Ningún error 1: Error; el código de error se visualiza en el parámetro STATUS 	"MB_MASTER_DB".ERROR
STATUS	Condición de ejecución	"MB_MASTER_DB".STATUS

La opción DATA_PTR permite direccionar los datos extraídos por el MB_MASTER para ser manipulados, siendo necesario la creación de un bloque de datos general DB como se muestra en la figura 46.

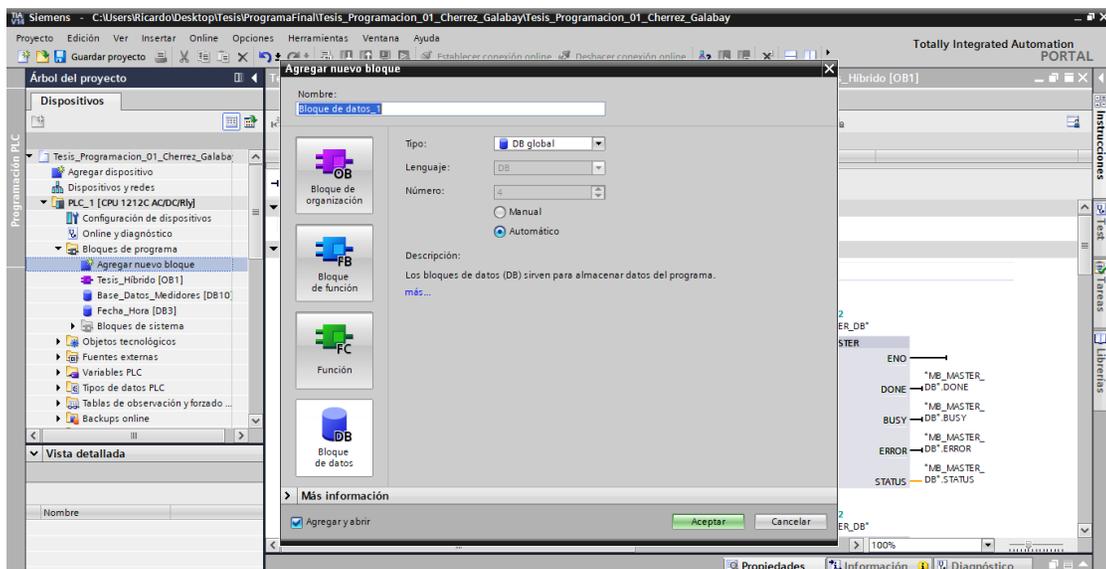


Figura 46. Configuración del Bloque de datos

El bloque de datos creado con el nombre Base_Datos_Medidores, permite el manejo de datos en forma ordenada mediante vectores como se muestra en la figura 47.

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible...	Escrib...	Visible en ...	Valor de a...	Comentario
Static									
Voltajes y Corrientes Eolico	Array[0..20]	0.0							
Voltajes y Corrientes Eolico[0]	Int	0.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[1]	Int	2.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[2]	Int	4.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[3]	Int	6.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[4]	Int	8.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[5]	Int	10.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[6]	Int	12.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[7]	Int	14.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[8]	Int	16.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[9]	Int	18.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[10]	Int	20.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[11]	Int	22.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[12]	Int	24.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[13]	Int	26.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[14]	Int	28.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[15]	Int	30.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[16]	Int	32.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[17]	Int	34.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[18]	Int	36.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[19]	Int	38.0	0						
Voltajes y Corrientes Eolico[20]	Int	40.0	0						
Frecuencia, FP, Energia Eolico	Array[0..40] of Int	42.0							

Figura 47. Variables ordenadas en el bloque de Datos

Muchos de los datos extraídos no se encuentran en unidades de ingeniería por lo que es necesario realizar el escalado de éstos, utilizando una función MOVE, que permite trasladar un dato a un espacio de memoria para su posterior conversión (ver figura 48).

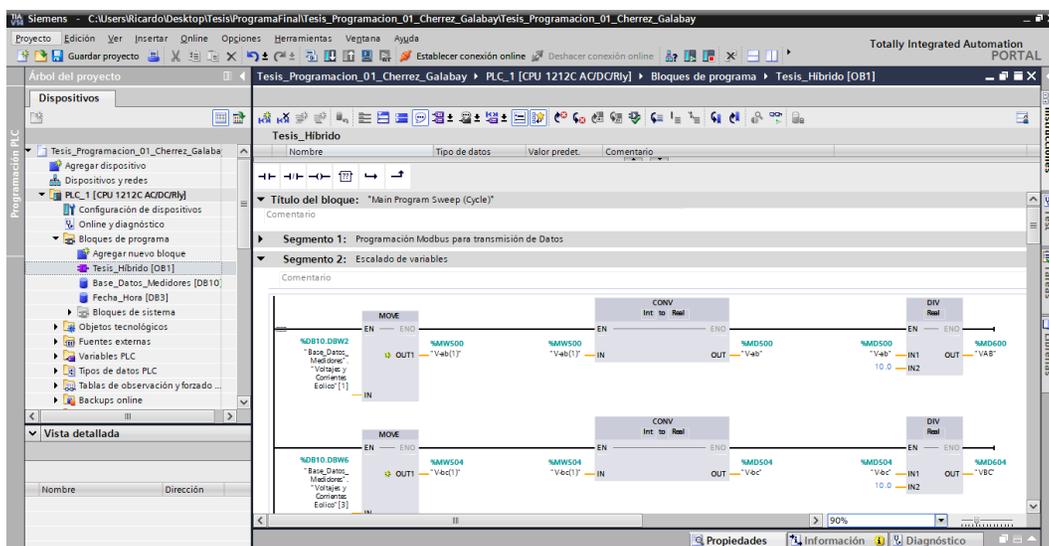


Figura 48. Bloque de programación MOVE

5.12.2 Programación para el cálculo de potencia teórica (Pt) de los generadores

La potencia teórica de cada generador instalado en el sistema es calculada mediante las magnitudes físicas que cada equipo de generación maneja es decir para el Aerogenerador el cálculo será en base a la velocidad del viento como se muestra en la ecuación 3, mientras que para los paneles fotovoltaicos se medirá la irradiancia solar según la ecuación 4.

Generador eólico

$$Pt_A = \frac{A * \rho * v^3}{2} \quad (3)$$

Pt_A = Potencia teórica del Aerogenerador en W

A = Área de barrido en el Generador Eólico m^2

ρ = Densidad del aire en $\frac{Kg}{m^3}$

v = velocidad del viento en $\frac{m}{s}$

Conociendo que el área de barrido del aerogenerador es de $5.7 m^2$, la densidad del aire es $0.95 \frac{Kg}{m^3}$ y la velocidad del viento la medida obtenida por el anemómetro previo normalizado y escalado como se muestra en la figura 49.

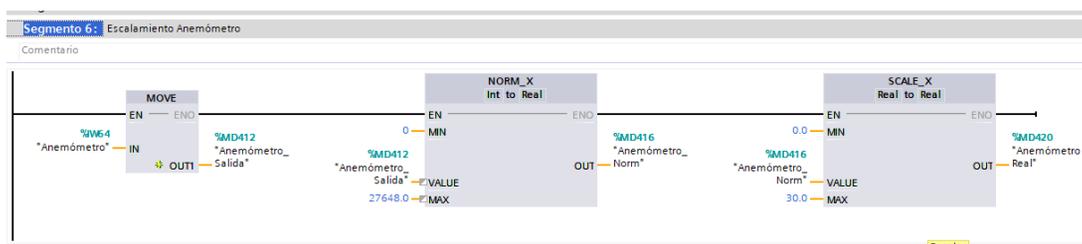


Figura 49. Normalizado y Escalado de Velocidad del Viento

Generador fotovoltaico

$$Pt_F = G * A \quad (4)$$

Pt_F = Potencia teórica de los paneles fotovoltaicos en W

G = Irradiancia solar en $\frac{W}{m^2}$

A = Área de los paneles en m^2

Ya que el sistema cuenta con dos paneles la potencia teórica calculada se duplicará. Siendo $0.75 m^2$ el área de un panel y la Irradiancia solar el valor medido por el piranómetro previo normalizado y escalado como se puede observar en la figura 50.

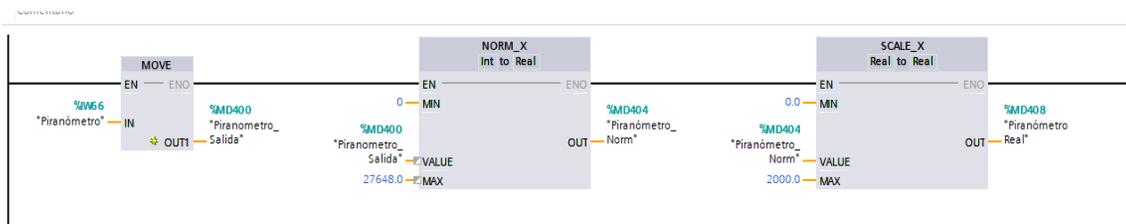


Figura 50. Normalizado y Escalado de Irradiancia Solar

Para el normalizado se toma un rango entre 0 - 27648, lo que es equivalente a un rango 0-10V en el PLC, y para el escalado se visualiza las características técnicas del medidor de irradiación solar en el anexo 8, dónde se determina que el valor máximo que admite el instrumento es $2000 W/m^2$.

5.12.3 Programación para el cálculo del rendimiento de los generadores

Para obtener el rendimiento de los generadores instalados en el sistema se debe conocer la potencia real entregada por los medidores de energía y compararlos con la potencia calculada como se muestra en la figura 51 para el aerogenerador y en la figura 52 para los paneles fotovoltaicos.

$$\eta = \frac{\text{Potencia Real}}{\text{Potencia Teórica}} * 100\% \quad (5)$$



Figura 51. Cálculo de rendimiento del Generador Eólico



Figura 52. Cálculo del rendimiento del generador Fotovoltaico

5.12.4 Programación del control de carga en el sistema

El control de carga se realiza de forma manual mediante la programación de un horario, el cual permite el encendido o apagado del mismo bajo las necesidades del usuario y de forma automática el cual tiene un horario fijo entre las 18h00 y las 06h00 del siguiente día. Para el manejo del tiempo en que se deberá programar se usa las instrucciones Rd_Loc_T y T_Conv mostrados en la figura 53, los cuales permiten la extracción de los valores de fecha y tiempo existentes en el PLC y los convierte en datos manipulables.



Figura 53. Bloques de programación para determinar el tiempo

Para el manejo del valor extraído se crea un bloque de datos el cual separa de forma ordenada las variables tiempo y fecha, además de que permite la creación de otras variables que se usan para el encendido (Hora_manual_ON) y apagado (Hora_manual_OFF) de la carga como se muestra en la figura 54.

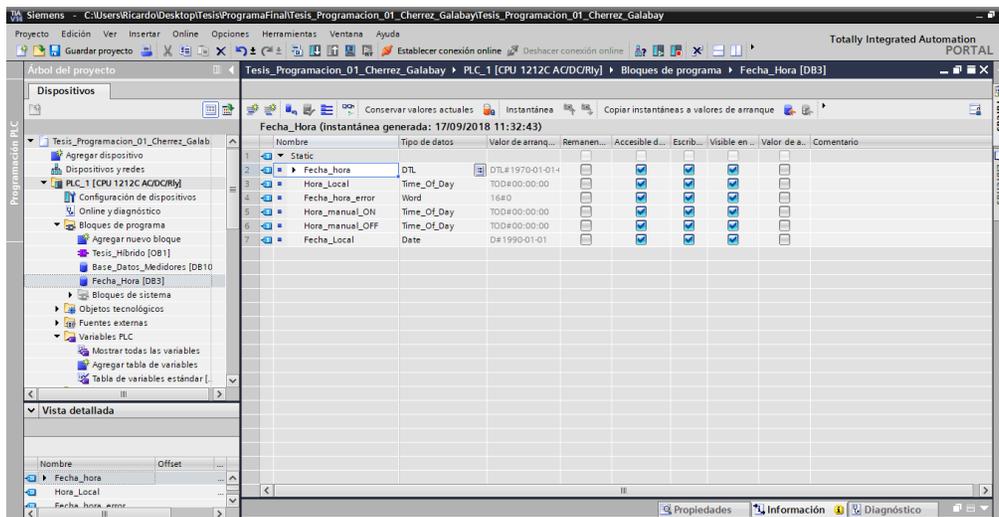


Figura 54. Separación de variables de tiempo

En la figura 55 se indica el segmento que permite el control manual y automático de la carga ubicada en la salida en relé del PLC Q0.1,

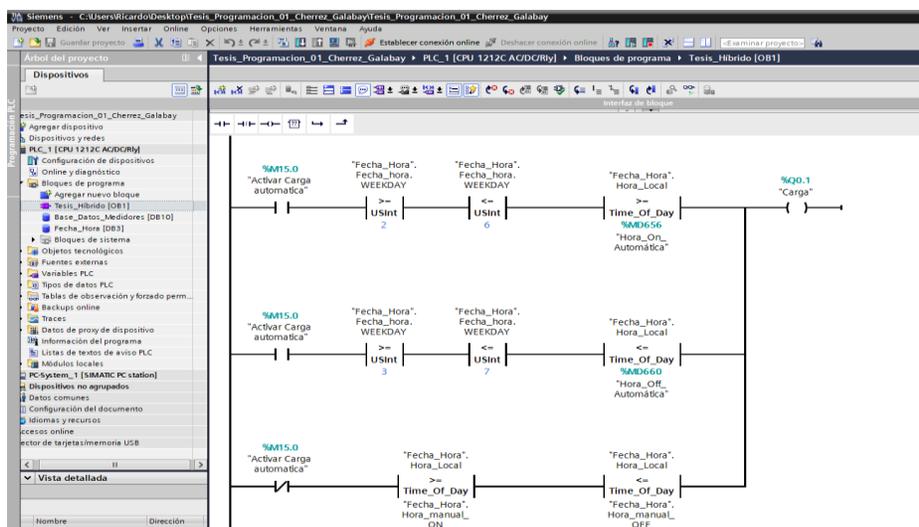


Figura 55. Bloques de Programación para el control de carga

La programación completa del sistema en lenguaje Ladder utilizada en este proyecto se encuentra en el Anexo 11.

5.13 Diseño y programación de la interfaz del sistema SCADA mediante el software TIA PORTAL V14

Permite el intercambio entre los datos adquiridos del sistema y el usuario que los visualizará de forma sencilla y práctica, permitiendo las siguientes funciones:

- Pantallas o imágenes que manejan información de las magnitudes eléctricas y analógicas medidas además del control de la carga de forma gráfica.
- Visualiza curvas de potencia y energía.
- Crea alarmas que ayudan al monitoreo de fallas en el sistema
- Obtiene una base de datos en formato .csv el cual puede ser abierto desde la plataforma Office Excel.

5.13.1 Diseño de las pantallas del HMI Pc System

Para tener un monitoreo adecuado del sistema de generación híbrido para el usuario, se establece el diseño de imágenes las cuales organizan la información y las representan gráficamente mediante un HMI-Pc System.

5.13.1.a Jerarquía de las pantallas en el HMI-Pc System

En la figura 56 se muestra la jerarquía de las pantallas que forman parte del HMI-PC System, cuenta con 10 ventanas que permiten la visualización general del Sistema Híbrido de generación.

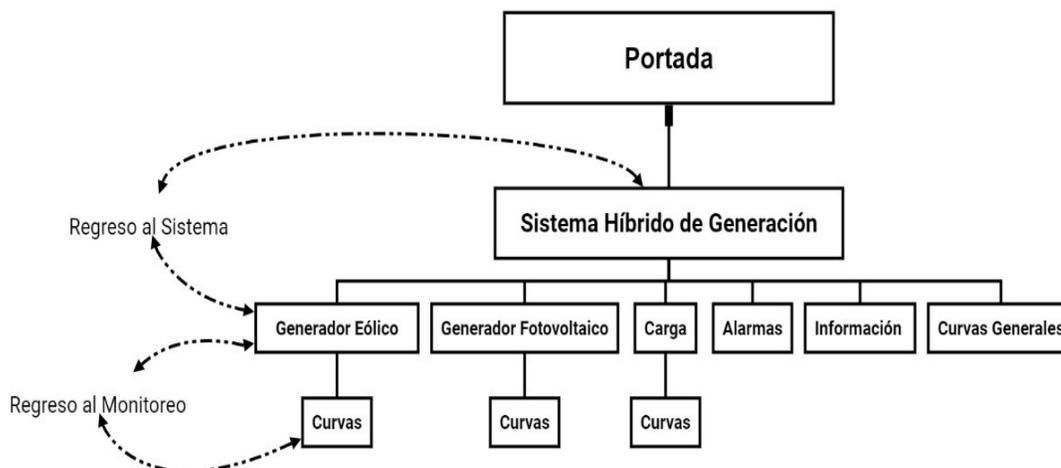


Figura 56. Jerarquía de Pantallas en el HMI

En la tabla 26 se muestra las características de cada imagen separándolas en niveles jerárquicos que permiten una mejor comunicación entre ellas, tomando en cuenta existen 4 niveles de navegación de fácil acceso para el usuario.

Tabla 26

Características de las imágenes en el HMI

Nombre de la ventana	Características	Nivel
Portada	Muestra el inicio del programa con el tema del trabajo de titulación al que pertenece	1
Sistema Híbrido de Generación	Permite la visualización de forma general de las potencias del sistema además del menú de los componentes específicos del mismo.	2
Generador eólico	Visualiza las variables eléctricas específicas tomadas por el medidor de energía KW9M desde el aerogenerador, además de la velocidad del viento, potencia teórica calculada y su rendimiento.	3
Generador Fotovoltaico	Visualiza las variables eléctricas específicas tomadas por el medidor de energía Acu-Dc desde los paneles fotovoltaicos, además de la irradiación solar,	3

CONTINÚA



	potencia teorica calculada y su rendimiento.	
Carga	Visualiza las variables eléctricas específicas tomadas por el medidor de energía Sentron PAC-3100 desde la carga, además los parámetros que se usan para establecer horarios de funcionamiento.	3
Alarmas	Muestra una ventana que visualiza las alertas que el Scada genera al observar una variación fuera de rango nominal.	3
Información	Muestra las especificaciones técnicas de cada generador instalado en el sistema	3
Curvas Generales	Permite visualizar curvas de potencias proporcionadas por cada generador durante el transcurso del tiempo.	3
Curvas Aerogenerador	Visualiza la curva de potencia y energía en tiempo real del aerogenerador.	4
Curvas Paneles	Visualiza la curva de potencia y energía en tiempo real de los paneles fotovoltaicos.	4
Curvas Carga	Visualiza la curva de potencia y energía consumida en tiempo real de la carga conectada al sistema.	4

5.13.2 Programación del HMI PC-System

Para la programación del HMI se utilizará una Pc instalada en el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga, y cuenta con conexión al PLC mediante red ethernet. En la sección 5.11.1 se detalla la manera de configurar el SIMATIC HMI WINCC RT ADVANCED el mismo que se usa para la elaboración de las imágenes.

5.13.2.a Creación y configuración de las imágenes

Se inicia configurando el runtime que permiten editar la resolución de la pantalla y el idioma de arranque como se muestra en la figura 57, para su visualización adecuada en la PC.

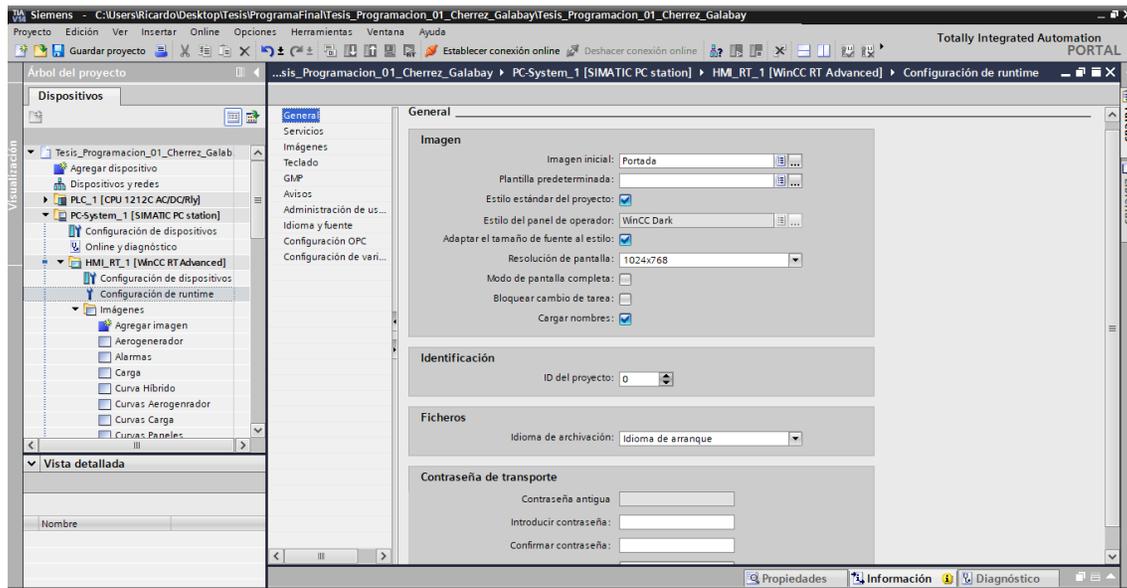


Figura 57. Configuración del Runtime para las imágenes

Luego se crean 10 imágenes necesarias en el HMI en las cuales se configuran botones, campos de datos, textos y gráficos, dichas funciones se encuentran en la ventana herramientas pestaña elementos y se las ubicara según las necesidades en el espacio de trabajo como se muestra en la figura 58.

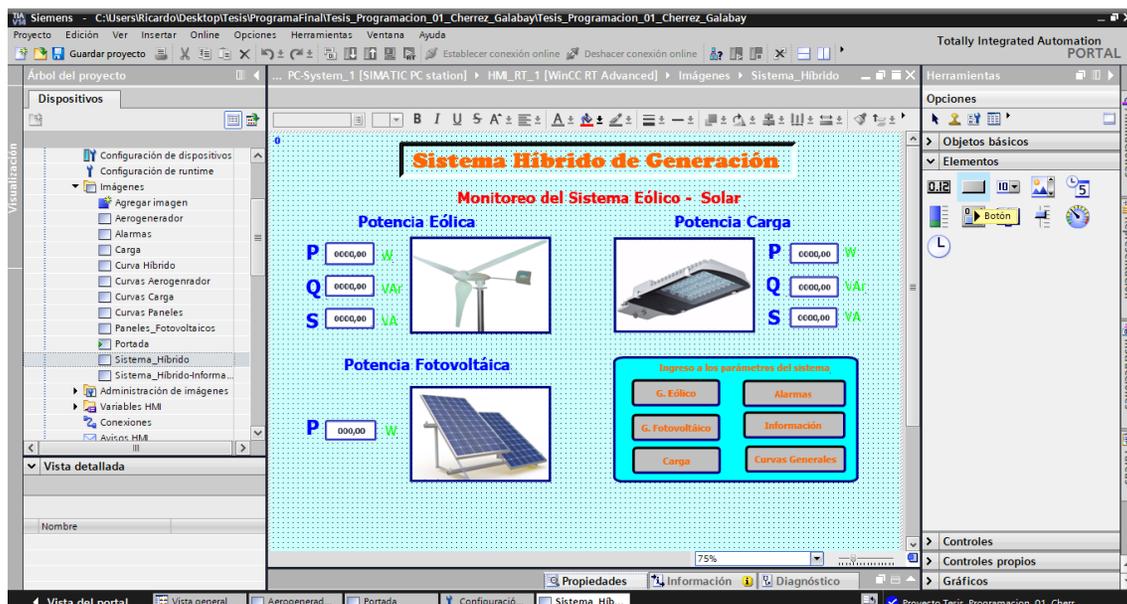


Figura 58. Configuración de imágenes del HMI

5.13.3 Diseño de controles para el HMI

Las imágenes creadas disponen de controles como curvas que permiten la visualización de variables en relación con el tiempo y avisos en base a rangos de advertencia o error las cuales pueden ser programadas.

5.13.3.a Programación de curvas de potencia y energía

Las curvas incluidas en las imágenes complementan el monitoreo en tiempo real de forma gráfica, para lo cual se necesita configurarla como se muestra en la figura 59, donde se introducen valores de programación como el nombre de la curva a mostrar, el estilo de gráfica, y la relación con la variable del PLC.

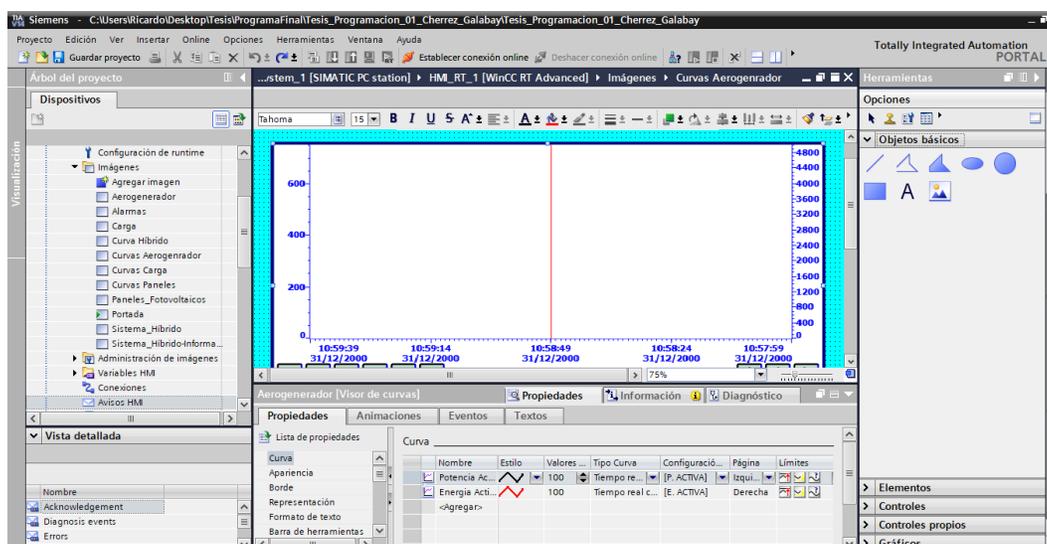


Figura 59. Configuración del control de curvas del HMI

Para visualizar el diseño de cada una de las pantallas revisar el Anexo 12.

5.13.4 Diseño y programación de avisos en el HMI

Dentro del Scada es indispensable mostrar al usuario del HMI, información sobre los estados de funcionamiento y fallos que se pueden ocasionar en el sistema con el fin de

realizar tareas de mantenimiento, por lo que se requiere configurar una imagen en la que se puedan observar alertas cuando existen variaciones fuera del rango de funcionamiento en las magnitudes que se monitorean. Su configuración inicia con una lista de avisos analógicos creada en la opción Avisos HMI del PC-System_1 como se muestra en la figura 60.

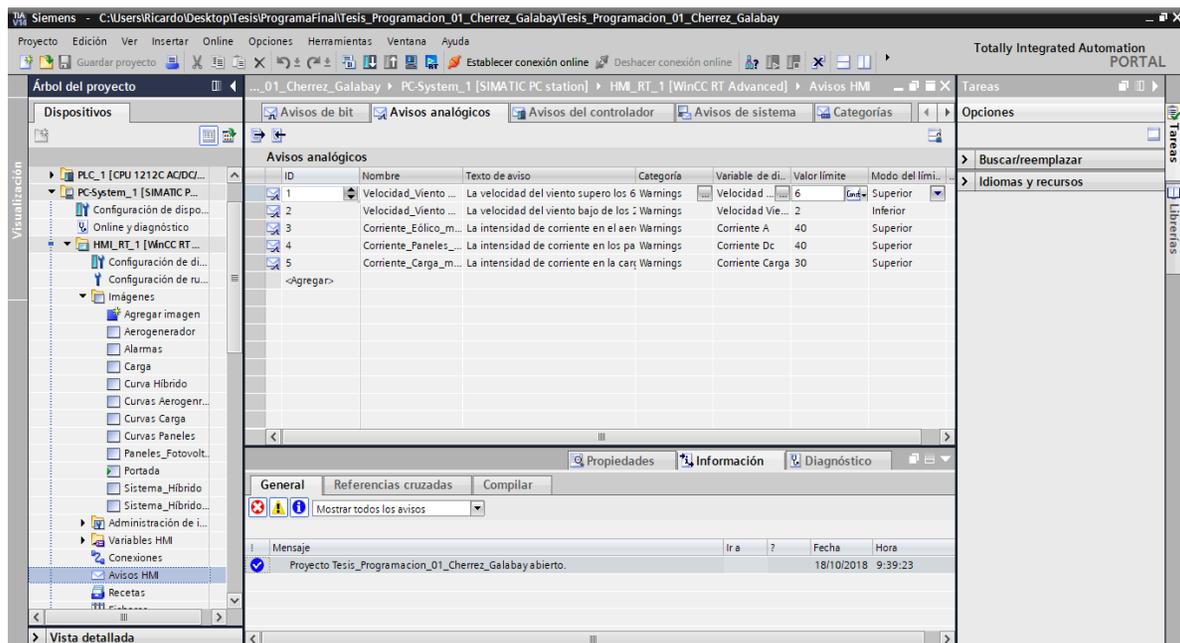


Figura 60. Lista de Avisos Analógicos

Luego se configuran las variables creadas, introduciendo datos como: nombre, texto informativo de visualización, la conexión con la variable y el valor límite que servirá como rango de disparo del aviso. Finalmente se procede a crear y configurar un visor de avisos en una imagen, la cual permite la inspección de éstos.

Para la configuración del visor de avisos se modifican los ajustes correspondientes a la posición, geometría, estilo, color y fuentes de la pantalla, así como se adaptan los elementos a mostrar en el visualizador, y se determina las columnas a mostrar en funcionamiento como se observa en la figura 61.

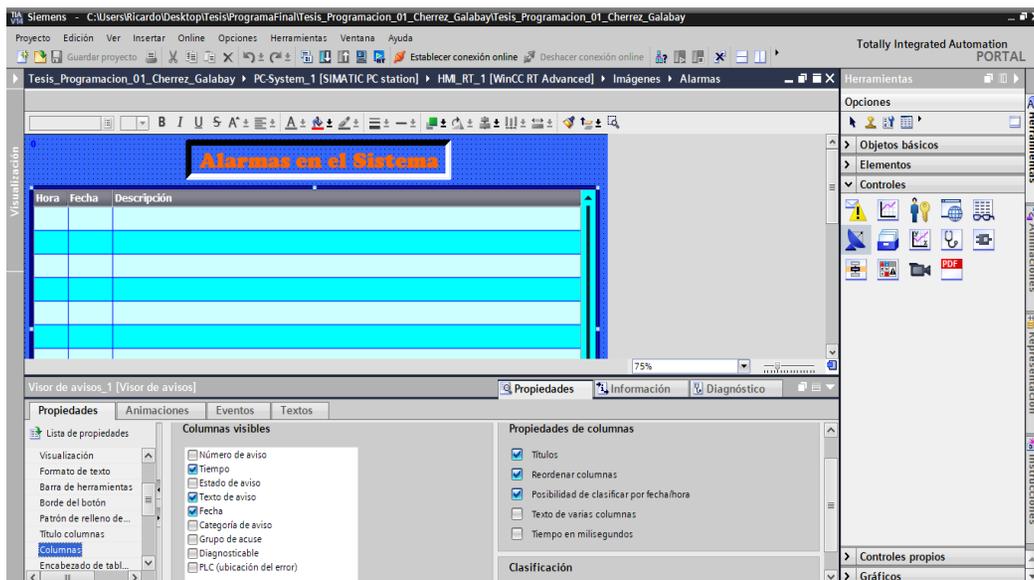


Figura 61. Configuración del Visor de Avisos

5.13.5 Creación de la base de datos en formato .cvs

En un sistema Scada es de suma importancia la recolección de datos permitiendo al usuario interactuar con la información y procesarla apropiadamente para la toma de decisiones de forma rápida, sencilla y eficiente. Esta base de datos debe manejar una misma trama y almacenar información de forma constante para su posterior uso, por lo que se selecciona como formato la aplicación informática .cvs logrando su interpretación en la plataforma Office Excel.

5.13.5.a Diseño y programación de la base de datos mediante un Script

Los datos manejados en el PC-System HMI desde el sistema de generación híbrida deben ser almacenados de manera que puedan ser usados para un posterior análisis siendo necesario crear una función VB definida por el usuario. Para la creación de dicha función se ingresa al árbol del proyecto en la opción Pc-System_1 pestaña Script, esta abre un entorno de programación en donde se declaran las variables a usar, la ubicación donde se crea el archivo y extrae las variables a guardar como se muestra en la figura 62.

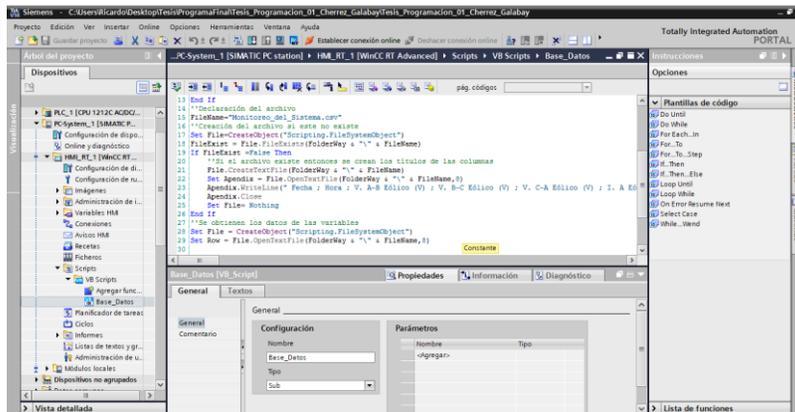


Figura 62. Programación del Script para la exportación de datos

La programación del Script utilizado para exportar variables a un archivo .csv se encuentra en el Anexo 13.

5.14 Pruebas de funcionamiento de los equipos de medición

En esta sección se realiza las primeras pruebas de funcionamiento de los equipos de medición para el monitoreo del sistema híbrido, y se compara con mediciones realizadas por instrumentos de laboratorio, dando el siguiente resultado.

La figura 63 muestra que la comunicación de los equipos de medición con el PLC no tiene errores y se visualiza que los bloques de programación tienen un contorno de color verde para asegurar que la comunicación es exitosa.

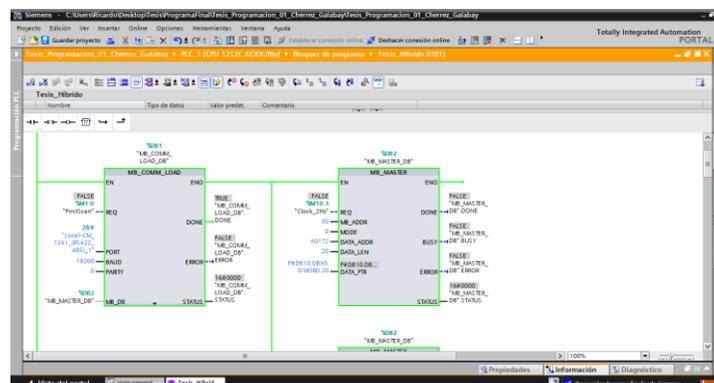


Figura 63. Comunicación de los equipos de medición con el PLC

Una vez que se ha comprobado la comunicación entre todos los equipos del sistema, se procede a comprobar la extracción de datos mediante la puesta en línea del PLC mostrado en la figura 64, dónde se visualizan todas las variables eléctricas del sistema.

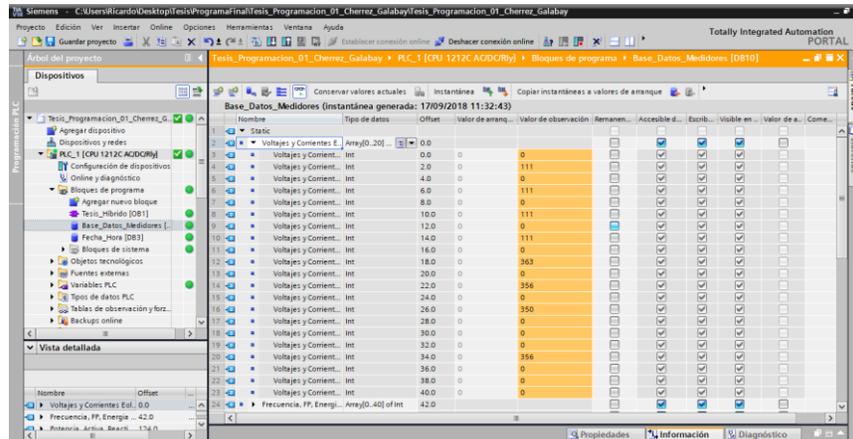


Figura 64. Prueba de extracción de datos del sistema

Es importante que los equipos de medición implementados en el sistema Scada proporcionen sus datos sin errores, por lo que en éste punto se procede a comparar las mediciones mostradas en la pantalla HMI con respecto a los datos proporcionados por los instrumentos de laboratorio. La figura 65 muestra la medición de voltajes en el generador Eólico, proporcionando un valor de 10.7 V en el sistema Scada y en el multímetro de marca Megger ubicado en el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía.

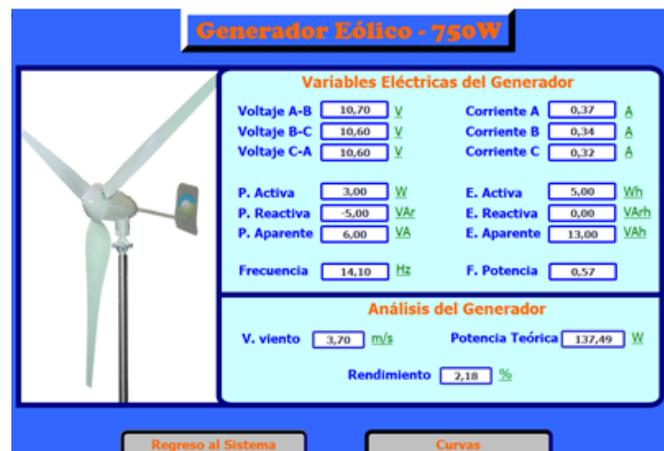


Figura 65. Medición de voltajes en el generador Eólico

En la figura 66 se visualiza la medición de corrientes en el generador Eólico, con un valor de 22.3 A, validando su medida con un amperímetro de pinza de marca Megguer, el mismo que está calibrado asegurando que los datos son correctos.

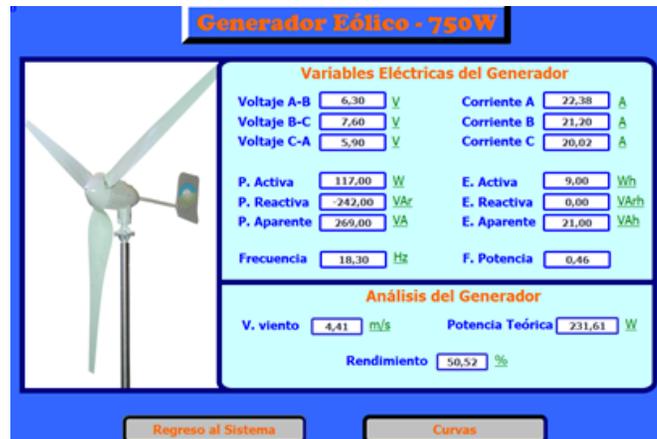


Figura 66. Medición de corrientes en el Generador Eólico

Ya que el Generador Eólico tiene una frecuencia variable, proporcional a su velocidad de rotación, es importante que el equipo de medición utilizado en el sistema Scada tenga la capacidad de medir las magnitudes eléctricas a bajas frecuencias. En la figura 67 se observa que la frecuencia del sistema es 18Hz en un instante de tiempo, siendo el valor coincidente con el instrumento de laboratorio, garantizando su medida real.

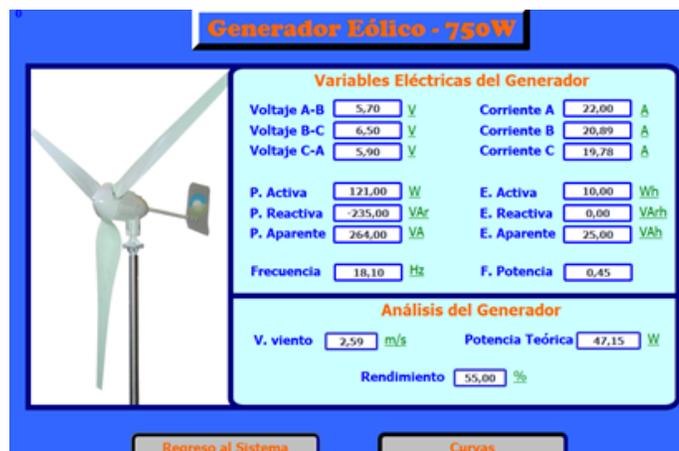


Figura 67. Medición de Frecuencia en el Generador Eólico

En éste punto se realiza la comparación de datos medidos, como voltaje y corriente en los paneles Fotovoltaicos, y se determina que los equipos utilizados en el sistema Scada se encuentran calibrados correctamente. En la figura 68 se observa la medición de voltaje y en la figura 69 se observa la medición de corriente. Estas dos variables eléctricas son importantes porque a partir de ellas el equipo determina la potencia y energía.



Figura 68. Medición de Voltaje en los Paneles Fotovoltaicos



Figura 69. Medición de Corriente en los Paneles Fotovoltaicos

Finalmente se comparan las variables físicas de irradiancia solar y velocidad del viento, mediante una estación meteorológica Vantage Pro, ubicada en una torre del edificio central de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Como resultado se obtiene que los datos del sistema Scada son coincidentes con la estación meteorológica, validando sus mediciones.

5.15 Análisis del balance energético

5.15.1 Análisis del rendimiento del generador híbrido

De acuerdo con los datos exportados del sistema de generación Híbrido mostrados en la tabla 27, se procede a realizar el cálculo del rendimiento del generador eólico y del generador fotovoltaico mediante sus ecuaciones.

Tabla 27

Datos generador híbrido

Fecha	Hora	P. Eólico (W)	Vel. Viento (m/s)	P. Paneles (W)	Irradiación (W/m)
21/09/2018	10:40:25	5	2,41645	51,77565	279,9523
21/09/2018	10:40:26	31	2,406684	51,77565	279,9523
21/09/2018	10:40:27	60	2,296007	52,10754	279,9523
21/09/2018	10:40:28	60	2,184245	52,44128	279,9523
21/09/2018	10:40:29	95	4,8332682	52,44128	279,9523
21/09/2018	10:40:30	93	4,220921	52,87625	279,9523
21/09/2018	10:40:31	87	3,962674	53,12104	279,9523
21/09/2018	10:40:32	79	3,814019	53,12104	279,9523

5.15.1.a Rendimiento del generador Eólico

Para el cálculo del rendimiento es necesario obtener la potencia teórica y hacer una comparación con la potencia real obtenida por el generador eólico como se describe a continuación:

$$Pt_A = \frac{A * \rho * v^3}{2}$$

Pt_A = Potencia teórica del Aerogenerador en W

A = Área de barrido en el Generador Eólico obtenido de las características técnicas=5.7m²

ρ = Densidad del aire promedio en la ciudad de Latacunga = $0.95 \frac{Kg}{m^3}$

v = velocidad del viento en un instante de tiempo en $\frac{m}{s}$

$$Pt_A = \frac{5.7 * 0.95 * 4.83^3}{2}$$

$$Pt_A = 305,07 W$$

$$\eta = \frac{Potencia Real}{Potencia Teórica} * 100\%$$

$$\eta = \frac{95 W}{305,07 W} * 100\%$$

$$\eta = 31,14\%$$

El rendimiento obtenido del generador Eólico es 31,14% con una velocidad del viento de 4.33 m/s, siendo un rendimiento alto tomando en consideración la ley de Betz que dice: Sólo puede convertirse menos de 16/27 (el 59 %) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador.

5.15.1.a Rendimiento del Generador Fotovoltaico

Para el cálculo del rendimiento en los paneles fotovoltaicos es importante tener la medida de la irradiancia solar para obtener su potencia teórica y compararla con la potencia real del sistema, así mediante la ecuación 5 se determina la eficiencia del generador.

$$Pt_F = G * A$$

Pt_F = Potencia teórica de los paneles fotovoltaicos en W

G = Irradiancia solar obtenida del sistema Scada en $\frac{W}{m^2}$

A = Área de un panel fotovoltaicos = $1.5m^2$

Ya que el sistema cuenta con dos paneles la potencia teórica calculada se duplicará. Siendo 1.5 m^2 el área de los dos paneles fotovoltaicos.

$$Pt_F = 279.95 * 1.5$$

$$Pt_F = 419.9 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{\text{Potencia Real}}{\text{Potencia Teórica}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{52.44 \text{ W}}{419.9 \text{ W}} * 100\%$$

$$\eta = 12.48\%$$

La eficiencia de los paneles fotovoltaicos dado por el fabricante es de 15.75% a una irradiancia de 1000 W/m^2 , por lo que se puede decir que el generador cumple con las especificaciones nominales al tener un rendimiento de 12.48% a una irradiancia de 279.95 W/m^2 .

5.15.2 Balance de energía en el sistema

5.15.2.a Energía real generada

Mediante los datos exportados por el sistema Scada se obtiene una gráfica que representa la potencia generada vs la potencia consumida por la carga en un día completo, y se puede visualizar en la figura 70, que la carga eléctrica se mantiene encendida durante 14 horas hasta apagarse, siendo el tiempo suficiente para cargar las baterías y encender la carga en un horario oportuno.

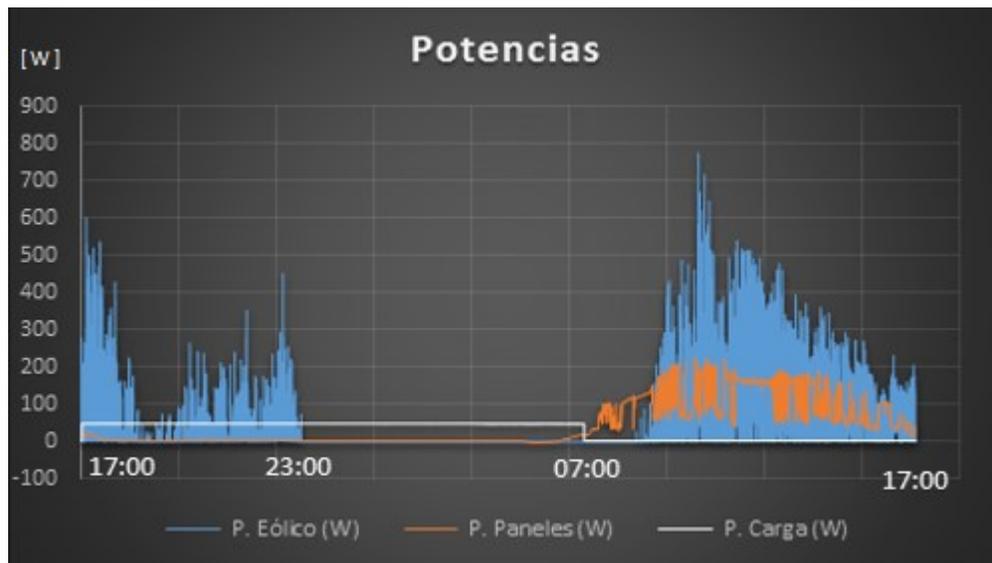


Figura 70. Potencia generada y Consumida en función del tiempo

Una vez que se ha obtenido el tiempo máximo que la carga eléctrica puede estar encendida continuamente, es necesario establecer horarios de funcionamiento, por lo que se plantea un horario de encendido de 18:00 – 06:00. En la figura 71 se observa que la energía producida en el día, sí abastece a la energía consumida.

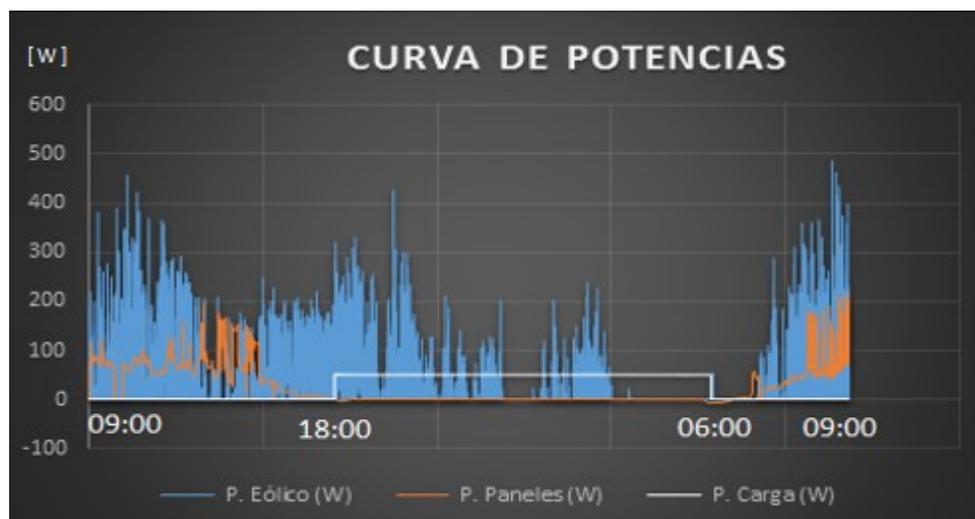


Figura 71. Potencia Generada y Consumida en horario programado

La tabla 28 muestra la energía aportada en 24 horas, dónde la energía total entregada es la suma de la energía Eólica y fotovoltaica, mientras que la energía utilizada se compone de la carga eléctrica (ver tabla 29), y el consumo del inversor en Stand By.

Tabla 28

Energía del sistema híbrido

Fecha	Hora	E. Activa Eólico (Wh)	E. Paneles (Wh)
19/09/2018	10:08:00	0	0
19/09/2018	12:00:00	121	120
19/09/2018	18:00:00	400	440
19/09/2018	22:00:00	574	440
20/09/2018	0:00:00	592	440
20/09/2018	3:00:00	633	440
20/09/2018	6:00:00	633	440
20/09/2018	10:08:00	773	570

Tabla 29

Energía consumida por la carga eléctrica

Fecha	Hora	E. Activa Eólico (Wh)
19/09/2018	18:00:00	0
19/09/2018	20:00:00	98.790
19/09/2018	22:00:00	197.54
19/09/2018	23:59:00	296.20
20/09/2018	02:00:00	395.33
20/09/2018	04:00:00	494.07
20/09/2018	06:00:00	593.09
TOTAL		593.09

Energía Real Generada = Energía eólico + Energía Fotovoltaico

Energía Real Generada = 773Wh + 570Wh

Energía Real Generada = 1343 Wh

$$\text{Energía inversor} = (2A)(12V)(24h)$$

$$\text{Energía inversor} = 576 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía Consumida} = \text{Energía Carga} + \text{Energía Inversor}$$

$$\text{Energía Consumida} = 593.09 \text{ Wh} + 576 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía Consumida} = 1169.09 \text{ Wh}$$

Tabla 30

Comparación de energía en el sistema

Energía Generada	Energía Consumida
1343 Wh	1169.09 Wh

$$\text{Energía Almacenada} = \text{Energía Generada} - \text{Energía Consumida}$$

$$\text{Energía Almacenada} = 1343 \text{ Wh} - 1169.09 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía Almacenada} = 173.91 \text{ Wh}$$

La tabla 30 muestra la comparación de la energía generada y la energía consumida, y como se observa el sistema de generación híbrido abastece totalmente a la carga eléctrica, adicionalmente tiene la capacidad de almacenar 173.91 Wh en las baterías del sistema.

5.15.2.a Energía teórica del sistema

La energía teórica que se puede obtener del sistema es el área bajo la curva de potencia teórica en un intervalo de tiempo, tanto para el generador eólico como fotovoltaico, en este caso el tiempo total es 24 horas por lo que al integrar la ecuación de la curva se obtiene su energía. La figura 72 muestra la curva de potencia teórica del generador Eólico con la ecuación que la describe.

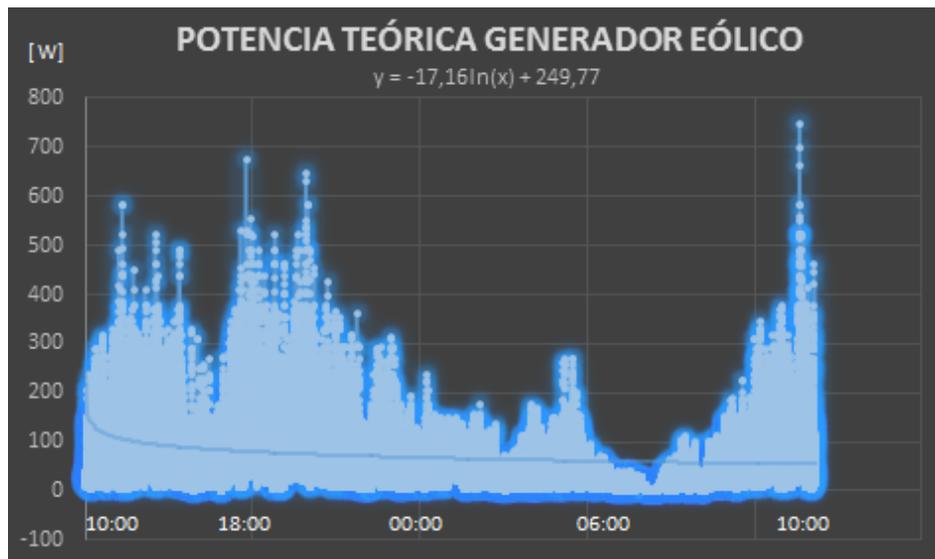


Figura 72. Potencia Teórica generador Eólico

Energía Teórica generador eólico

Para obtener la energía teórica del generador eólico se toma como base los datos de la velocidad del viento obtenido del sistema Scada implementado, durante 24 horas de generación, es decir 86400 segundos, calculando así la potencia mediante la ecuación 3 para cada valor de velocidad del viento en una hoja de cálculo. La sumatoria de todos los datos de potencia teórica será la energía calculada.

$$Energía\ teórica\ Generador\ Eólico = \sum_{i=0}^{86400} Potencia\ Teórica\ Calculada\ [W * seg]$$

$$Energía\ teórica\ Generador\ Eólico = 6254918,88\ [W * seg]$$

$$Energía\ Teórica\ Generador\ Eólico = 6254918,88\ W * seg \frac{1\ hora}{3600\ seg}$$

$$Energía\ teórica\ Generador\ Eólico = 1737,47\ [Wh]$$

La figura 73 muestra la gráfica de la potencia teórica del generador Fotovoltaico con la ecuación que la describe.

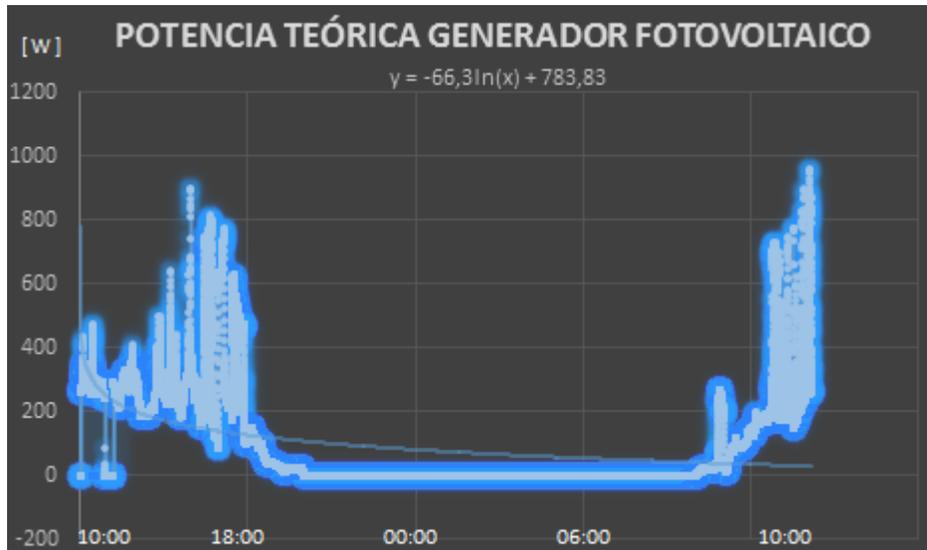


Figura 73. Potencia Teórica generador Fotovoltaico

Energía Teórica generador fotovoltaico

Para obtener la energía teórica del generador Fotovoltaico se toma como base los datos de Irradiancia solar obtenido del sistema SCADA implementado, en 24 horas de generación, calculando la potencia mediante la ecuación 4 para cada valor de velocidad del viento en una hoja de cálculo. La sumatoria de todos los datos de potencia teórica será la energía calculada.

$$\text{Energía teórica Generador Fotovoltaico} = \sum_{i=0}^{86400} \text{Potencia Teórica Calculada} \text{ [W * seg]}$$

$$\text{Energía teórica Generador Fotovoltaico} = 16735095,7 \text{ [W * seg]}$$

$$\text{Energía teórica Generador Fotovoltaico} = 16735095,7 \text{ W * seg} \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ seg}}$$

$$\text{Energía teórica Generador Fotovoltaico} = 4648,63 \text{ [Wh]}$$

$$\text{Energía Teórica Total} = 1737,47 \text{ Wh} + 4648,63 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía Teórica Total} = 6586,1 \text{ Wh}$$

5.15.2.a Eficiencia energética del sistema

$$Eficiencia = \frac{Energía\ real\ generada}{Energía\ teórica} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{1343\ Wh}{6586,1\ Wh} * 100$$

$$Eficiencia = 20,3\%$$

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis realizado, y haciendo una comparación con los resultados de la tabla 28, se ha llegado a determinar que el generador Fotovoltaico tiene un rendimiento total de 12.2%, mientras que el rendimiento total del generador Eólico es del 44.1%, por lo que la eficiencia energética del sistema es del 20.3%, haciendo notar que la presencia del generador Eólico ayuda a mejorar el rendimiento total del sistema de generación Híbrido.

Con el objetivo de mejorar el aprendizaje de los estudiantes, en el área de Fuentes Alternativas de Energía se elabora guías de laboratorio para realizar dos prácticas, de monitoreo en el generador híbrido y análisis energético haciendo uso de la base de datos exportada (Ver Anexo 14).

5.16 CONCLUSIONES

Para la medición de potencia eléctrica del generador híbrido se instaló 3 medidores de potencia: El medidor Panasonic KW9M que mide las magnitudes eléctricas del aerogenerador eólico, el medidor Accuenergy AcuDc 240 para las mediciones en los paneles fotovoltaicos y el medidor Siemens Sentron PAC 3100 para las magnitudes de la carga instalada.

Debido a que el rango de medición de las entradas analógicas del PLC 1212 AC/DC/Rly son de 0 - 10 Vdc, y el rango de voltaje entregado por el piranómetro es de 0

a 400mVdc, se implementó un amplificador de voltaje que permite elevar ésta señal a un rango de 0 - 5 Vdc logrando una mejor resolución de esta señal.

Para la implementación del sistema SCADA se utilizó un controlador lógico programable Siemens 1212 AC/DC/Rly con un módulo de comunicación RS- 485 con lo cual se establece una red para el intercambio de información con los medidores de energía en tiempo real para visualizar los datos obtenidos mediante un PC-System HMI.

Utilizando un PC-System HMI se logró la configuración de una interfaz amigable con el usuario que consta de 10 imágenes mejorando la visualización de las variables como voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia, factor de potencia, velocidad del viento e irradiancia solar, incluyendo curvas interactivas de potencias generadas por el sistema y avisos que muestran una variación de las magnitudes de su rango nominal de funcionamiento permitiendo la creación de una base de datos en formato .csv compatible con Office Excel.

De acuerdo con el análisis del sistema de generación Híbrido se ha llegado a determinar que el rendimiento del generador Eólico es de 31.14% para una velocidad del viento de 4.83 m/s, mientras que el rendimiento del generador Fotovoltaico es de 12.48% para una irradiancia solar de 279.9 W/m².

La energía total acumulada en 24 horas de generación es de 1343 Wh, con una aportación de 773 Wh del generador Eólico y 570 Wh del generador Fotovoltaico, siendo energía suficiente para abastecer a una carga de 50W durante 12 horas y almacenar 173.91 Wh en las baterías del sistema. Adicionalmente se determina que la carga eléctrica puede estar encendida constantemente durante 14 horas hasta apagarse, y el horario de funcionamiento óptimo es de 18:00 a 6:00.

5.17 RECOMENDACIONES

Se recomienda analizar que los equipos de medición y de comunicación manejen un protocolo adaptable entre sí, antes de la selección de los mismos.

Para monitorear el sistema de generación Híbrido desde cualquier lugar por medio de internet, se recomienda implementar un módulo de IoT, permitiendo visualizar curvas, alarmas y controlar el sistema de forma remota.

Para que el sistema trabaje con normalidad se recomienda que los equipos de control y comunicación se instalen en un ambiente de baja temperatura, que no sobrepase los 25 °C, debido a que el exceso de temperatura puede afectar su funcionamiento.

5.18 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AcuEnergy. (2018). AcuDC 240 Series, 4. Retrieved from <https://www.accuenergy.com/files/acudc/AcuDC-240-DC-Power-Energy-Meter-Brochure.pdf>.
- Arif, A. (2013). Experimental study and design of smart energy meter for the smart grid. *2013 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 515–520. <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2013.6529714>. Recuperado el 14 de Septiembre del 2018
- Bester. (2016). 36fc499ef2830851cfccf885320644eb06fa5509 @ bester.energy. Retrieved from <https://bester.energy/blog/aplicaciones-sistemas-energia-fotovoltaica-aislados/>. Recuperado el 18 de Septiembre del 2018
- Bonifaz, F., & Flores, M. (2013). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para una red Profibus*. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Chavarría, L. (2007). Scada System ´ S & Telemetry. *Universidad De Mexico*, 5. <https://doi.org/MM2086SOI9069>. Recuperado el 18 de Septiembre del 2018
- Cornejo, P. W. (2011). Diseño e implementación de plataforma SCADA para sistema de electrificación sustentable en la localidad de Huatacondo, 77. Retrieved from http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-weber_pc/pdfAmont/cf-weber_pc.pdf. Recuperado el 22 de Septiembre del 2018
- Creus, A. (2007). Instrumentacion industrial, (April), 664. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>. Recuperado el 22 de Septiembre del 2018
- Departamento de Energía, E. U. (2007). Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad. *Laboratorio Nacional de Energía Renovable*, 27. <https://doi.org/DOE/GO-102007-2481>. Recuperado el 22 de Septiembre del 2018
- Depuru, S. S. S., Wang, L., & Devabhaktuni, V. (2011). Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2736–2742. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.039>. Recuperado el 2 de Octubre del 2018

- Direct, I. (2016). product-158525-1615681 @ www.directindustry.es. Retrieved from <http://www.directindustry.es/prod/siap-micros-srl/product-158525-1615681.html>. Recuperado el 2 de Octubre del 2018
- ERNC. (2017). 99366aebd9f2642ebda849863490b020e5e4f3f8 @ www.futurorenovable.cl. Retrieved from <https://www.futurorenovable.cl/las-ernc-viven-su-momento-iphone/>. Recuperado el 10 de Octubre del 2018
- Hernández, M. I., & Ledesma, D. A. (2010). Desarrollo de un sistema SCADA para la medición de voltajes con sistemas embebidos para el laboratorio de mecatrónica de la facultad de mecánica, 146. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1137/1/25T00140.pdf>. Recuperado el 10 de Octubre del 2018
- M. Moreno. (2014). Controlador Lógico Programable. *Automación Micromecánica s.a.i.C, I*, 84. Retrieved from <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>. Recuperado el 14 de Octubre del 2018
- Ma, T., Yang, H., & Lu, L. (2013). Performance evaluation of a stand-alone photovoltaic system on an isolated island in Hong Kong. *Applied Energy*, 112, 663–672. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.12.004>. Recuperado el 15 de Octubre del 2018
- Masoum. (2002). Theoretical and experimental analyses of photovoltaic systems with voltage and current-based maximum power-point tracking. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 17(4), 514–522. <https://doi.org/10.1109/TEC.2002.805205>. Recuperado el 15 de Octubre del 2018
- MEER. (2016). ELECGALAPAGOS. Retrieved from [http://www.elecgalapagos.com.ec/transparencia/files/RENDICION DE CUENTAS PERIODO.2016/Presentacion_RENDICION_CUENTAS_ELECGALAPAGOS_2016.pdf](http://www.elecgalapagos.com.ec/transparencia/files/RENDICION_DE_CUENTAS_PERIODO.2016/Presentacion_RENDICION_CUENTAS_ELECGALAPAGOS_2016.pdf). Recuperado el 22 de Octubre del 2018
- Montalvo, I., & Cabezas, J. (2011). Diseño de Prototipo de Aerogenerador con almacenamiento de energía, monitoreado por un sistema SCADA, 88. Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/jspui/bitstream/23000/982/1/99852.pdf>.

Recuperado el 24 de Octubre del 2018

Muñoz, P. (2018). Incentive Pertaining To Energy the Generation Distributed in Ecuador. *Ingenius-Revista De Ciencia Y Tecnologia*, (19), 60–68.

<https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.06>. Recuperado el 28 de Octubre del 2018

Panasonic. (2013). Eco-POWER METER ®. Retrieved from https://www.panasonic-electric-works.com/pew/es/downloads/ds_kw9m_es.pdf

Pérez, D. (2015). Procedimiento de Mantenimiento. *Procedimientos de Mantenimiento y Calibracion de Estación Radiométrica*, 42. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4443/fichero/Memoria+PFC%252F3.pdf>.

Recuperado el 5 de Noviembre del 2018

Pérez, E. (2015). SCADA systems in the industrial automation. *Tecnología En Marcha*, 28(4), 3–14. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i4.2438>. Recuperado el 5 de Noviembre del 2018

Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda una Vida.” *Senplades*, 1–148. Retrieved from http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf. Recuperado el 7 de Noviembre del 2018

Pólit, R. O. (2005). Diseño E Implementación De Un Controlador De Carga Para Un Sistema Fotovoltaico Autónomo. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/515/1/T-ESPE-027549.pdf>.

Recuperado el 7 de Noviembre del 2018

Prado, jose C., & Marrone, L. (2010). ETHERNET INDUSTRIAL : Modelos y conectividad en el ámbito de procesos industriales, 156. Retrieved from Settings/Electro_Santy/Escritorio/Santy/Comunicaciones/refrerencias/Documento_completo.pdf. Recuperado el 7 de Noviembre del 2018

Qiu, B. (2002). Web-SCADA Background, 14–19. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/976986/>. Recuperado el 7 de Noviembre del 2018

Raghunathan, V. (2005). Design considerations for solar energy harvesting wireless embedded systems. *IPSN 2005. Fourth International Symposium on Information*

- Processing in Sensor Networks, 2005.*, 457–462.
<https://doi.org/10.1109/IPSNS.2005.1440973>. Recuperado el 7 de Noviembre del 2018
- Raudez, B., Martinez, B., & Bustamante, V. (2010). Trabajo De Diploma. *Cenida.Una.Edu.Ni*, 2014–2015. Retrieved from <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnh60s164e.pdf>. Recuperado el 8 de Noviembre del 2018
- Renom, M. (2011). Principios básicos de las mediciones atmosféricas, 1–16. Retrieved from http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla1.pdf. Recuperado el 8 de Noviembre del 2018
- Román, E., & Alonso, R. (2006). Intelligent PV module for grid-connected PV systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 53(4), 1066–1073.
<https://doi.org/10.1109/TIE.2006.878327>. Recuperado el 8 de Noviembre del 2018
- Sanchez, A. (2007). Buses de campo, 6. Retrieved from <http://linux0.unsl.edu.ar/~rvilla/c3m10/tema13.pdf>. Recuperado el 8 de Noviembre del 2018
- Schlechtingen, M. (2013). Wind turbine condition monitoring based on SCADA data using normal behavior models. Part 1: System description. *Applied Soft Computing Journal*, 13(1), 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.08.033>. Recuperado el 8 de Noviembre del 2018
- Sensovant. (2017). piranometro-portatil-precio-venta-economico-LP02 @ sensovant.com. Retrieved from <http://sensovant.com/productos/meteorologia/radiacion-solar/articulo/piranometro-portatil-precio-venta-economico-LP02.html>. Recuperado el 8 de Noviembre del 2018
- Siemens. (2005). Profibus segun IEC 61158/EN 50170, 72. Retrieved from http://www.siemens.com.ar/sites/internet/legacy/sie-pe/pe/pdf_catalogos/cap_5_PROFIBUS.pdf. Recuperado el 8 de Noviembre del 2018
- Siemens. (2009). de manera exacta y confiable Gestión de la Energía Eléctrica.

- Retrieved from <https://www.automation.siemens.com/cd-static/material/info/e20001-a112-l300-x-7800.pdf>. Recuperado el 8 de Noviembre del 2018
- Siemens. (2015). S7 Controlador programable S7-1200. *Siemens AG*, 378. Retrieved from <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL DEL SISTEMA.PDF>. Recuperado el 8 de Noviembre del 2018
- Sopelia. (2016). 72927b636f22da05d688dd2853b98f722f9b14fc @ www.energiasolar.lat. Retrieved from <http://www.energiasolar.lat/rentabilidad-fotovoltaica/>. Recuperado el 8 de Noviembre del 2018
- Stouffer, K. (2008). Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. *Nist Special Publication*, 800(82). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r1>. Recuperado el 9 de Noviembre del 2018
- Stracuzzi, E. P. (2014). Universidad católica de santiago de guayaquil, 1–125. Retrieved from <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1659/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-7.pdf>. Recuperado el 9 de Noviembre del 2018
- Torres, M. (2015). Introducción a las Redes de Comunicación Industrial. 2016, 19. Retrieved from http://www.infoplcn.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion-a-las-redes-de-comunicacion-industrial.pdf. Recuperado el 9 de Noviembre del 2018
- Twenergy. (2011). ventajas-de-la-energia-eolica-402 @ twenergy.com. Retrieved from <https://twenergy.com/a/ventajas-de-la-energia-eolica-402>. Recuperado el 9 de Noviembre del 2018
- Universidad de Oviedo. (2016). *No Title No Title_2015*. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. <https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>. Recuperado el 9 de Noviembre del 2018
- Universidad de Valencia. (2009). Redes de comunicación industriales. *Estudi General Valencia*, 1, 39–60. Retrieved from https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf. Recuperado el 9 de

Noviembre del 2018

Yu, F. R. (2011). Communication systems for grid integration of renewable energy resources. *Communication Infrastructures for Smart Grid*, 25(5), 22–29.
<https://doi.org/10.1109/MNET.2011.6033032>. Recuperado el 9 de Noviembre del 2018

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Henry Marcelo Cherez Guayta y Ricardo Vinicio Galabay Gualotuña.

En la ciudad de Latacunga, a los 30 días del mes de noviembre del 2018.

Aprobado por:

Ing. Mario Jiménez
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Katya Torres

DIRECTORA DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca

SECRETARIO ACADÉMICO

