



**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 MÓDULO DIDÁCTICO  
PARA EL ANÁLISIS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO  
DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS  
FUERZAS ARMADAS – ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.**

**AUTORES: BELTRÁN GALLO, CRISTIAN PAÚL**

**CAMPOS LLERENA, DARÍO JAVIER**

**DIRECTOR: ING. JIMÉNEZ LEÓN, MARIO POLIBIO**

**LATACUNGA  
2020**



**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 MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.**” fue realizado por los señores **BELTRÁN GALLO, CRISTIAN PAUL Y CAMPOS LLERENA, DARÍO JAVIER;** 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 **BELTRÁN GALLO, CRISTIAN PAUL Y CAMPOS LLERENA, DARÍO JAVIER** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 20 de enero del 2020**

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser 'Mario Polibio Jiménez León', escrita sobre una línea horizontal.

Ing. Mario Polibio, Jiménez León  
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, **BELTRÁN GALLO, CRISTIAN PAUL Y CAMPOS LLERENA, DARÍO JAVIER**; declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS 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, 20 de enero del 2020**

Beltrán Gallo, Cristian Paul  
C.C.: 0503276917

Campos Llerena, Darío Javier  
C.C.: 1600690356



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

## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

#### AUTORIZACIÓN

Nosotros, **BELTRÁN GALLO, CRISTIAN PAUL Y CAMPOS LLERENA, DARÍO JAVIER**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 20 de enero del 2019

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser 'C. Paul Gallo', sobre una línea horizontal.

Beltrán Gallo, Cristian Paul

C.C.: 0503276917

Una firma manuscrita en tinta azul que dice 'CAMPOS DARÍO', sobre una línea horizontal.

Campos Llerena, Darío Javier

C.C.: 1600690356

## DEDICATORIAS

Este Proyecto de Titulación se lo quiero dedicar a mis padres Lidia y Washington por ser mi apoyo fundamental y haberme inculcado los valores necesarios para no rendirme y luchar por alcanzar este objetivo, a mi hermana por inspirarme a ser mejor cada día, a mis abuelitos por el apoyo incondicional que siempre me brindaron.

**Cristian**

Este proyecto de Titulación lo quiero dedicar a Dios por darme el entendimiento y la sabiduría lo cual me ayudó a lo largo de mi vida estudiantil, a mis padres Luis Campos y Mercedes Llerena que con su apoyo y esfuerzo he podido culminar este logro que también es de ellos, a mis hermanas Wilma, Dalila y Priscila que a lo largo de toda mi vida estudiantil han estado apoyándome. A Dani mi esposa y Emilio mi hijo que me han dado fuerzas cada día para cumplir mi sueño.

**Darío**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por ser mi guía y brindarme sabiduría.

A mis padres Washington y Lidia por todo el esfuerzo y dedicación para apoyarme en este largo y difícil camino y por pese a las dificultades y tropiezos confiar siempre en mí. A todos mis familiares que de una u otro manera siempre me apoyaron.

Al Ing. Mario Jiménez por el tiempo y los conocimientos brindados para el desarrollo de este proyecto.

**Cristian**

Quiero agradecer a Dios ya que cada día alimenta mi fe para seguir adelante en mis estudios y no decaer, A mi padre Luis y a mi madre Mercedes agradecerles infinitamente por el apoyo recibido que a pesar de los tropiezos y situaciones difíciles que se me presentaron me han estado apoyando y han confiado en mí.

A mis hermanas y familiares cercanos que estuvieron pendientes de mí que de alguna u otra manera me ayudaron con sus consejos durante mis estudios.

Al Ing. Mario Jiménez por todo el tiempo y sobre todo por compartir sus conocimientos para culminar de la mejor manera este proyecto.

**Darío**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIAS .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xx
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT .....	xxiv

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMÁTICA

1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Justificación e importancia.....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	4

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.	Análisis de la energía .....	5
2.2.	Motores Eléctricos .....	6
2.2.1.	Motores de corriente alterna (AC).....	7
2.2.2.	Motores de corriente continua (DC).....	9
2.3.	Convertidores estáticos de energía .....	12
2.3.1.	Convertidor AC/DC .....	13
2.4.	Variadores de frecuencia.....	16
2.4.1.	Variador de frecuencia de 6 pulsos .....	17
2.4.2.	Variador de frecuencia de 12 pulsos .....	18
2.4.3.	Variador de AC PowerFlex 70 .....	19
2.4.4.	Variador Siemens Micromaster 440.....	19
2.4.5.	Variador Altivar 12 .....	20
2.4.6.	Variador de frecuencia ABB .....	21
2.5.	Armónicos.....	24
2.5.1.	Fuentes de generación de armónicos.....	24
2.5.2.	Fuentes de producción de armónicos en el futuro .....	25
2.5.3.	Distorsión armónica total .....	25
2.6.	Estudio de armónicos en variadores de frecuencia .....	27
2.6.1.	Armónicos con control V/f .....	27
2.6.2.	Armónicos con control PWM.....	28
2.6.3.	Armónicos con control vectorial SVM .....	29



2.7.	Efectos de los armónicos.....	30
2.7.1.	Resonancia.....	30
2.7.2.	Aumento de las pérdidas .....	31
2.7.3.	Sobrecargas en los equipos .....	31
2.8.	Sistemas de supervisión de energía.....	32
2.8.1.	Ahorro de energía.....	32
2.9.	Centrales de medida.....	33
2.10.	PLC.....	34
2.10.1.	Estructura interna de un PLC.....	35
2.10.2.	Estructura externa de un PLC.....	35
2.11.	Protocolos de comunicación.....	37
2.11.1.	Protocolo MODBUS.....	37
2.11.2.	Protocolo Profibus .....	38
2.11.3.	Protocolo de comunicación Ethernet .....	39
2.12.	Interfaz Hombre - Máquina (HMI) .....	41
2.12.1.	Funciones de un sistema HMI .....	41
2.13.	Hipótesis.....	42
2.14.	Variables de la investigación .....	42

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA**

3.1.	Antecedentes investigativos .....	45
3.2.	Modalidad de la investigación.....	48

3.3. Tipos de investigación .....	48
3.3.1. Investigación bibliográfica.....	48
3.3.2. Investigación del método inductivo .....	49
3.3.3. Investigación experimental .....	49
3.3.4. Diseño de la investigación .....	49
3.4. Niveles de la investigación .....	50
3.4.1. Exploratoria .....	50
3.4.2. Descriptiva.....	50
3.4.3. Investigación explicativa .....	51
3.4.4. Población y muestra .....	51
3.5. Técnicas de recolección de datos.....	52
3.5.1. Observación del laboratorio.....	52
3.5.2. Instrumentos de medición.....	52
3.5.3. Técnicas de análisis de datos.....	53
3.5.4. Técnicas de comprobación de hipótesis.....	54

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

4.1. Análisis de resultados.....	55
4.1.1. Medición de variables eléctricas en estaciones de trabajo .....	55
4.1.2. Medición de variables eléctricas en un motor asincrónico trifásico.....	56
4.1.3. Medición de magnitudes eléctricas en el variador de frecuencia Micromaster 440.....	60

4.1.4. Medición de variable eléctricas al conectar un motor DC a un conversor controlado AC/DC trifásico.....	68
4.2. Análisis de datos.....	70
4.3. Comprobación de hipótesis. ....	71
4.3.1. Planteamiento de la hipótesis.....	71

## **CAPÍTULO V**

### **PROPUESTA**

5.1. Tema de la propuesta.....	73
5.2 Datos informativos.....	73
5.2.1. Beneficiarios.....	74
5.3. Objetivos.....	74
5.3.1. Objetivo general.....	74
5.3.2. Objetivos específicos.....	74
5.4. Justificación de la propuesta.....	75
5.5. Fundamentación de la propuesta.....	75
5.6. Diseño de la propuesta.....	76
5.6.1. Resumen.....	76
5.6.2. Arquitectura del proyecto.....	77
5.7. Selección de equipos.....	78
5.7.1. Criterios de selección de medidor de energía inteligente para las estaciones de trabajo.....	78
5.7.2 Criterios de selección del controlador lógico programable para el sistema. ....	82

5.7.3. Criterios de selección de Switch para la comunicación Ethernet.....	85
5.7.4. Criterios de selección del conector Ethernet .....	87
5.7.5. Criterios de selección del material para tableros de control .....	89
5.8. Metodología para la realización de la propuesta del proyecto .....	91
5.8.1. Diseño del módulo para el análisis de energía .....	91
5.8.2. Esquema de conexión de los elementos .....	93
5.8.3. Configuración del medidor de energía SENTRON PAC_3200 .....	94
5.9. Configuración de los equipos que conforman el sistema de monitoreo en el software TIA PORTAL V14 .....	95
5.9.1. Comunicación del medidor de energía con el controlador .....	96
5.9.2. Configuración del PLC para la adquisición de las variables eléctricas del sistema.....	96
5.10. Diseño y configuración de la interfaz gráfica del sistema .....	99
5.10.1. Diseño de las pantallas en el Pc_System.....	99
5.11. Configuración de los equipos para comunicar los medidores con el sistema .	102
5.11.1. Programación para obtener datos de los medidores de energía .....	103
5.12. Programación de la hora para obtener reportes. ....	108
5.13. Creación del sistema de monitoreo gráfico.....	110
5.13.1. Rango de las pantallas HMI Pc System.....	110
5.13.2. Programación del HMI Pc System .....	111
5.13.3. Diseño de los controles para las imágenes .....	112
5.13.4. Programación de curvas de potencias y de voltajes en las líneas.....	112
5.13.5. Creación de la programación para la base de datos en formato .cvs .....	113

5.13.6. Diseño de la base de datos usando un Scrip .....	113
5.14. Pruebas y análisis de resultados .....	114
5.14.1. Prueba de funcionamiento del sistema con los medidores inteligentes de energía.....	114
5.14.2. Pruebas para la activación de la salida digital. ....	119
5.15. Pruebas de adquisición de datos para graficar curvas de forma manual y verificar con las del sistema. ....	120
5.15.1. Motor asincrónico trifásico sin carga.....	121
5.15.2. Motor asincrónico trifásico con carga .....	124
5.15.3. Variador de frecuencia a 30Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico en vacío .....	128
5.15.4. Variador de frecuencia a 30Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico con carga a corriente nominal .....	132
5.15.5. Variador de frecuencia a 60Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico en vacío .....	135
5.15.6. Variador de frecuencia a 60Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico con carga a corriente nominal .....	138
5.15.7 Conversor AC/DC controlado con carga.....	141
5.16. Cálculo de error del sistema .....	144

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1. Conclusiones .....	149
-------------------------	-----

6.2. Recomendaciones .....	151
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>159</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Curvas de perturbaciones eléctricas.....	6
<b>Figura 2.</b> Motor serie de corriente continua .....	10
<b>Figura 3.</b> Motor shunt de corriente continua .....	11
<b>Figura 4.</b> Motor compuesto de corriente continua.....	12
<b>Figura 5.</b> Conversor estático de energía AC/DC controlado .....	13
<b>Figura 6.</b> Conversor AC/DC no controlado de seis pulsos.....	14
<b>Figura 7.</b> Circuito de un conversor semicontrolado monofásico .....	15
<b>Figura 8.</b> Conversor AC/DC controlado de 12 pulsos .....	16
<b>Figura 9.</b> Variador de seis pulsos. ....	18
<b>Figura 10.</b> Variador de 12 pulsos.....	18
<b>Figura 11.</b> Variador de AC PowerFlex 70 .....	19
<b>Figura 12.</b> Variador Altivar 12 ATV12H075M2.....	20
<b>Figura 13.</b> Variador ABB ACS300.....	21
<b>Figura 14.</b> Forma de onda y contenido armónico de corriente.....	24
<b>Figura 15.</b> Circuito Equivalente Monofásico.....	27
<b>Figura 16.</b> Modulación PWM.....	29
<b>Figura 17.</b> Control Vectorial .....	30
<b>Figura 18.</b> Central de medida PM5100 .....	33
<b>Figura 19.</b> Estructura interna de un PLC.....	35
<b>Figura 20.</b> PLC compacto Modicon M221 .....	36
<b>Figura 21.</b> PLC modular Eaton XC .....	37

<b>Figura 22.</b> Protocolo de comunicación Ethernet .....	40
<b>Figura 23.</b> Conexión del motor asíncrono trifásico.....	57
<b>Figura 24.</b> Circuito de un motor asíncrono con el variador de frecuencia Micromaster 440.....	61
<b>Figura 25.</b> Esquema de conexión del convertor no controlado AC/DC trifásico.....	69
<b>Figura 26.</b> Arquitectura del Proyecto.....	78
<b>Figura 27.</b> Medidor inteligente de energía Sentron Pac-3200.....	82
<b>Figura 28.</b> Switch Ethernet TP LINK .....	87
<b>Figura 29.</b> Puerto de comunicación RJ45 .....	89
<b>Figura 30.</b> Diagrama de flujo del módulo para el análisis de energía .....	92
<b>Figura 31.</b> Esquema de conexión .....	93
<b>Figura 32.</b> Pantalla de configuración SENTRON PAC-3200.....	94
<b>Figura 33.</b> Esquema de configuración de equipos y del software .....	95
<b>Figura 34.</b> Conexión por medio de Modbus TCP. ....	96
<b>Figura 35.</b> Creación de un proyecto nuevo .....	97
<b>Figura 36.</b> Selección del PLC .....	98
<b>Figura 37.</b> Exploración del PLC .....	98
<b>Figura 38.</b> Esquema de configuración de la interfaz gráfica .....	99
<b>Figura 39.</b> Activación de la nueva IP.....	100
<b>Figura 40.</b> Configuración del módulo de comunicaciones.....	101
<b>Figura 41.</b> Configuración IP de los módulos de comunicación .....	101
<b>Figura 42.</b> Unión de Red entre los dispositivos.....	102
<b>Figura 43.</b> Configuración para lectura de equipos en el sistema .....	103



<b>Figura 44.</b> Bloque de comunicación MB_CLIENT.....	104
<b>Figura 45.</b> Bloque de datos.....	106
<b>Figura 46.</b> Bloque para ingresar las IP de los medidores .....	106
<b>Figura 47.</b> Bloque de datos con los espacios de memoria para las variables eléctricas .....	108
<b>Figura 48.</b> Base de datos para hora del PLC.....	109
<b>Figura 49.</b> Configuración de fecha_hora.....	109
<b>Figura 50.</b> Rango de pantallas en el HMI.....	110
<b>Figura 51.</b> Configuración de curvas .....	112
<b>Figura 52.</b> Código de programación en la función VB para obtener la base de datos	114
<b>Figura 53.</b> Configuración desde el panel del medidor de energía.....	115
<b>Figura 54.</b> Conexión del sistema.....	116
<b>Figura 55.</b> Comunicación de los medidores con el PLC. ....	116
<b>Figura 56.</b> Lectura de variables eléctricas .....	117
<b>Figura 57.</b> Ventana de medidas de las variables Eléctricas.....	118
<b>Figura 58.</b> Curvas del sistema .....	118
<b>Figura 59.</b> Diagrama jerárquico para la activación de la salida digital. ....	119
<b>Figura 60.</b> Diagrama de conexión para el uso de salida digital.....	120
<b>Figura 61.</b> Conexión motor asincrónico trifásico .....	121
<b>Figura 62.</b> Potencias totales de un motor asincrónico trifásico sin carga.....	122
<b>Figura 63.</b> Voltajes de fase de un motor asincrónico trifásico sin carga .....	123
<b>Figura 64.</b> THD_R de corriente en un motor asincrónico trifásico sin carga .....	123
<b>Figura 65.</b> Corrientes de un motor asincrónico trifásico sin carga .....	124

<b>Figura 66.</b> Conexión del motor asincrónico trifásico con mando de freno.....	125
<b>Figura 67.</b> Potencias totales de un motor asincrónico trifásico con carga .....	126
<b>Figura 68.</b> Voltaje de fase de un motor asincrónico trifásico con carga .....	126
<b>Figura 69.</b> THD_R de corrientes de un motor asincrónico trifásico con carga .....	127
<b>Figura 70.</b> Corrientes de un motor asincrónico trifásico con carga .....	127
<b>Figura 71.</b> Conexión motor asíncrono trifásico con un variador de frecuencia .....	128
<b>Figura 72.</b> Potencias totales de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz.....	130
<b>Figura 73.</b> Voltajes de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz .....	130
<b>Figura 74.</b> THD_R de corrientes de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz.....	131
<b>Figura 75.</b> Corrientes de línea de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz.....	131
<b>Figura 76.</b> Potencias totales de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz.....	133
<b>Figura 77.</b> Voltajes de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz .....	133
<b>Figura 78.</b> THD_R de corrientes de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz.....	134
<b>Figura 79.</b> Corrientes de línea de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz.....	134

<b>Figura 80.</b> Potencias totales de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz.....	136
<b>Figura 81.</b> Voltajes de fase de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz .....	136
<b>Figura 82.</b> THD_R de corrientes de un motor asincrónico trifásico en vacío mediante un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz.....	137
<b>Figura 83.</b> Corrientes de línea de un motor asincrónico trifásico en vacío mediante un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz.....	137
<b>Figura 84.</b> Potencias de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz .....	139
<b>Figura 85.</b> Voltajes de fase de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz .....	139
<b>Figura 86.</b> THD_R de corrientes de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz.....	140
<b>Figura 87.</b> Corrientes de línea de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz.....	140
<b>Figura 88.</b> Conexión con el conversor AC/DC .....	141
<b>Figura 89.</b> Potencias Totales de un motor de DC con carga a un conversor AC/DC controlado.....	142
<b>Figura 90.</b> Voltajes de fase de un motor de DC con carga a un conversor AC/DC controlado.....	143
<b>Figura 91.</b> THD_R de corrientes de un motor de DC con carga a un conversor AC/DC controlado.....	143

**Figura 92.** Corrientes de línea de un motor de DC con carga a un conversor

AC/DC controlado..... 144

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Características técnicas de variadores de frecuencia.</i>	22
<b>Tabla 2</b>	<i>Operacionalización de variable independiente.</i>	43
<b>Tabla 3</b>	<i>Operacionalización de variable dependiente.</i>	44
<b>Tabla 4</b>	<i>Preguntas base para la solución de problemas.</i>	51
<b>Tabla 5</b>	<i>Magnitudes eléctricas de un motor asíncrono trifásico en vacío.</i>	58
<b>Tabla 6</b>	<i>Magnitudes eléctricas de un motor asíncrono trifásico con carga a corriente nominal.</i>	59
<b>Tabla 7</b>	<i>Características técnicas del variador de frecuencia Micromaster 440.</i>	61
<b>Tabla 8</b>	<i>Código para frecuencia regulable para el variador Micromaster 440.</i>	62
<b>Tabla 9</b>	<i>Variables eléctricas del motor asíncrono trifásico en vacío con 30 Hertz.</i>	64
<b>Tabla 10</b>	<i>Variables eléctricas del motor asíncrono trifásico en vacío con 60 Hertz.</i>	65
<b>Tabla 11</b>	<i>Variables eléctricas del motor asíncrono trifásico a corriente nominal y 30 Hertz.</i>	66
<b>Tabla 12</b>	<i>Variables eléctricas del motor asíncrono trifásico a corriente nominal y 60 Hertz.</i>	67
<b>Tabla 13</b>	<i>Magnitudes eléctricas en un convertidor controlado AC/DC trifásico conectado a un motor DC con carga a corriente nominal.</i>	70
<b>Tabla 14</b>	<i>Especificaciones de los medidores de energía de corriente alterna.</i>	79
<b>Tabla 15</b>	<i>Características técnicas del medidor de energía Sentron Pac-3200.</i>	80
<b>Tabla 16</b>	<i>Controladores industriales (PLC).</i>	83
<b>Tabla 17</b>	<i>Características técnicas del PLC S7-1200 1214AC/DC/Rly.</i>	84

<b>Tabla 18</b>	<i>Características del Switch Ethernet.....</i>	86
<b>Tabla 19</b>	<i>Características técnicas del puerto RJ45 Siemens .....</i>	88
<b>Tabla 20</b>	<i>Especificaciones técnicas del Vulcatex.....</i>	90
<b>Tabla 21</b>	<i>Parámetros de configuración MB_CLIENT .....</i>	104
<b>Tabla 22</b>	<i>Direcciones IP de los medidores de energía y el controlador.....</i>	107
<b>Tabla 23</b>	<i>Características de las ventanas del HMI .....</i>	111
<b>Tabla 24</b>	<i>Variables eléctricas medidas en el motor asincrónico trifásico (004.003) sin carga .....</i>	122
<b>Tabla 25</b>	<i>Variables eléctricas medidas en el motor asincrónico trifásico (004.003) con carga.....</i>	125
<b>Tabla 26</b>	<i>Variables eléctricas medidas en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 30Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico en vacío .....</i>	129
<b>Tabla 27</b>	<i>Variables eléctricas medidas en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 30Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico a plena carga .....</i>	132
<b>Tabla 28</b>	<i>Variables eléctricas medidas en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 60Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico en vacío .....</i>	135
<b>Tabla 29</b>	<i>Variables eléctricas medidas en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 60Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico a plena carga .....</i>	138
<b>Tabla 30</b>	<i>Variables eléctricas medidas en el conversor AC/DC no controlado con carga un motor de CC (004.006). .....</i>	142
<b>Tabla 31</b>	<i>Cálculo del Error con dos dispositivos de medida al conectar un motor asincrónico trifásico funcionando en vacío mediante un variador de frecuencia a 60 Hz.....</i>	145

<b>Tabla 32</b> <i>Cálculo del Error con dos dispositivos de medida al conectar un motor asincrónico trifásico funcionando a plena carga mediante un variador de frecuencia a 60 Hz.....</i>	146
<b>Tabla 33</b> <i>Cálculo de error promedio en base a datos de dos pruebas más representativas.....</i>	146
<b>Tabla 34</b> <i>Cálculo de error en el conversor AC/DC controlado con motor DC bajo carga.....</i>	147

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación detalla el diseño e implementación de un módulo didáctico para el análisis de la energía eléctrica. El sistema consta de un controlador lógico programable S7 1200 y cuatro medidores inteligentes de energía Sentron Pac 3200 comunicados entre sí por medio de un protocolo de comunicación Modbus TCP. Los medidores inteligentes son instalados en cuatro estaciones de trabajo y permiten tener acceso a parámetros eléctricos como: voltajes de fase, corrientes de línea, potencias de línea y totales, frecuencia, factor de potencia y THD's de voltaje y corriente, posteriormente el PLC recibe la información transmitida por cada uno de los medidores de energía y la presenta en las respectivas PC's por medio de una interfaz HMI de WinCC Advanced mostrando en forma gráfica el proceso supervisado y permitiendo crear una base de datos en un formato .csv compatible con Microsoft Excel la cual será almacenada en la PC Maestro que se encarga de realizar el monitoreo general para un posterior análisis. Se determina la operabilidad del módulo mediante pruebas de funcionamiento con diferentes tipos de cargas las cuales permiten obtener los valores de parámetros eléctricos con sus curvas características, facilitando observar el comportamiento de la energía eléctrica ante diversas circunstancias.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES**
- **MEDIDORES DE ENERGÍA**
- **MÁQUINAS ELÉCTRICAS**



## **ABSTRACT**

The present degree work details the design and implementation of a teaching module for the analysis of electrical energy. The system consists of a programmable logic controller S7 1200 and four intelligent energy meters Sentron Pac 3200 communicated with each other through a Modbus TCP communication protocol. The intelligent meters are installed on four workstations and allow access to electrical parameters such as: phase voltages, line currents, line and total powers, frequency, power factor and voltage and current THD's. The PLC then receives the information transmitted by each of the energy meters and presents it to the respective PC's by means of a WinCC Advanced HMI interface, showing the monitored process in graphic form and allowing the creation of a database in a format .csv format compatible with Microsoft Excel which is stored on the master PC for general monitoring and analysis. The operability of the module is determined by means of operation tests with different types of loads which allow to obtain the values of electrical parameters with their characteristic curves, facilitating the observation of the behavior of the electrical energy before diverse circumstances.

### **KEYWORDS:**

- **PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER**
- **INTELLIGENT ENERGY METERS**
- **ELECTRICAL PARAMETERS.**

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMÁTICA**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Actualmente el laboratorio de Accionamientos Eléctricos instalado en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga cuenta con cuatro estaciones de trabajo que permiten realizar prácticas en las cuales se utilizan diversos elementos eléctricos como: motores, convertidores estáticos de energía AC/DC, variadores de frecuencia, entre otros, que originan variaciones en las magnitudes eléctricas al momento de ponerlos en funcionamiento; el laboratorio no cuenta con un sistema que permita monitorear las cuatro mesas. Por esta razón se ve necesario realizar la actualización del laboratorio con un sistema que incluye medidores inteligentes de energía en cada estación de trabajo para la medición de magnitudes que permitan realizar el análisis eléctrico.

#### **1.2. Antecedentes**

El laboratorio de Accionamientos Eléctricos se implementó en la Universidad en el año de 1995, cuenta con cuatro estaciones de trabajo en la que se realizan prácticas relacionadas con la aplicación de los convertidores estáticos de energía, al control de velocidad en los motores eléctricos.

Esta infraestructura permite que los estudiantes adquieran la capacidad de seleccionar, analizar y dimensionar los accionamientos de máquinas eléctricas, basados en el uso de normativas, catálogos y documentación técnica.

El equipamiento actual para las mediciones de las magnitudes eléctricas como: corriente, voltaje, potencia, factor de potencia, entre otras son de tecnología analógica, uno de los principales usos es el de accionamientos que combinan las máquinas eléctricas con la electrónica de potencia, donde las mediciones requieren análisis de la energía eléctrica, como es la distorsión armónica THD imposibilitando realizar con los equipos disponibles.

La propuesta por tanto es implementar un sistema con centrales de medida en cada uno de los puestos de trabajo, los mismos que puedan medir aspectos relacionados con la calidad de la energía eléctrica y con estos medidores se puede implementar un sistema de monitoreo para la supervisión en tiempo real.

### **1.3. Justificación e importancia**

El sistema a implementar permitirá medir en tiempo real corrientes, voltajes, potencia, factor de potencia, THD, entre otros; en cada una de las estaciones de trabajo, obteniendo reportes de cómo se comporta la energía, permitiendo así realizar un monitoreo energético adecuado para el sistema, durante el desarrollo de la práctica.

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 en el entorno en el que se desarrollen, es por eso que el presente proyecto busca dimensionar un módulo didáctico para la supervisión de la energía eléctrica, en las cuatro estaciones de trabajo del Laboratorio de Accionamientos Eléctricos en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

El proyecto puede ser utilizado también como medio de aprendizaje para los estudiantes de Ingeniería que se están formando en el área de Accionamientos Eléctricos y Máquinas Eléctricas en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Actualmente los procesos se manejan con sistemas inteligentes, por lo que es necesario que los estudiantes conozcan sobre la operación de este tipo de sistemas en aplicaciones industriales.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar e Implementar un módulo didáctico para el análisis de la energía eléctrica en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un módulo didáctico que permita realizar mediciones de los parámetros de la energía eléctrica en cada una de las estaciones de trabajo.
- Implementar el módulo didáctico, mediante el empleo de medidores inteligentes de energía y realizar las pruebas de funcionamiento implementando un HMI que integre las mediciones de cada una de las estaciones de trabajo.
- Realizar el análisis de la energía eléctrica mediante la medición de: corriente, voltaje, potencia, factor de potencia, THD, entre otros parámetros.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

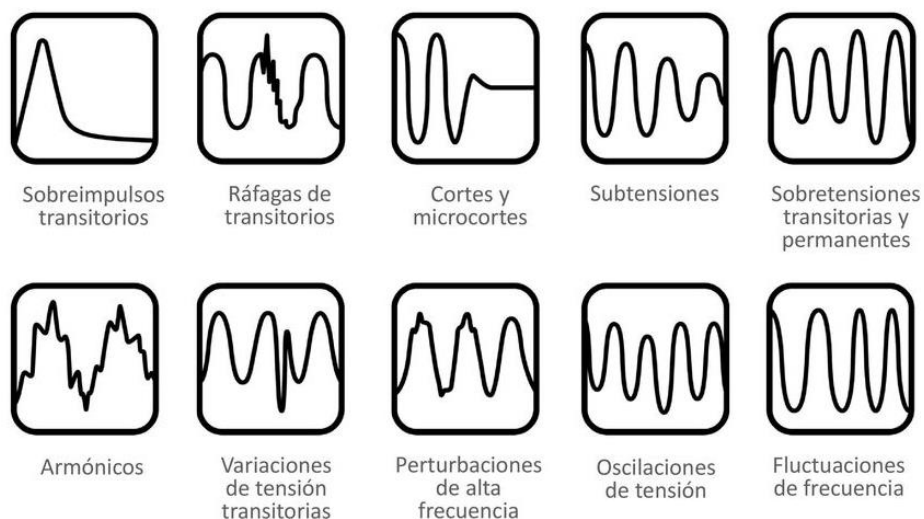
#### 2.1. Análisis de la energía

El crecimiento económico en la actualidad va de la mano con el desarrollo tecnológico, por tal razón la presencia de equipos eléctricos con nuevas tecnologías ha aumentado considerablemente, siendo necesario el uso de herramientas adecuadas para poder monitorear las perturbaciones que se presentan en los sistemas eléctricos.

Las aplicaciones van desde los niveles industriales, administrativos, gubernamentales hasta los usuarios domésticos; esto exige que el suministro de energía eléctrica sea de calidad, garantizando que los dispositivos cumplan con su trabajo. Existen varias anomalías relacionadas con el análisis de la energía siendo estos: perturbaciones de tensión, impulsos transitorios, ruido, sobretensión, interrupción, huecos de tensión y distorsiones armónicas (Montoya, 2012).

Solucionar estos inconvenientes se torna complejo ya que se aplican varios conocimientos de la ingeniería como: máquinas eléctricas, instrumentos de medida, electrónica de potencia, protecciones eléctricas y sistemas eléctricos de potencia. Para analizar la energía eléctrica es necesario la aplicación de las matemáticas con modelos usados en elementos de inteligencia artificial que registran datos con precisión, analizan

y proporcionan la información necesaria detectando las anomalías de la red, llevando a una clasificación de la energía para que pueda ser mejorada y cumpla con los requerimientos necesarios para tener una energía de calidad (Montoya, 2012). En la Figura 1 se presenta algunos tipos de perturbaciones eléctricas.



**Figura 1.** Curvas de perturbaciones eléctricas  
Fuente: (Salicru, 2018)

## 2.2. Motores Eléctricos

El objetivo principal de los motores eléctricos es convertir la energía eléctrica en energía mecánica para de esta forma accionar cualquier tipo de proceso productivo, cubriendo gran parte de las necesidades de la vida moderna, una de sus características principales es que poseen una prolongada vida útil (Murillo, 2018).

### 2.2.1. Motores de corriente alterna (AC)

Se conoce como motores de corriente alterna a los motores que funcionan con corriente alterna. Actualmente estos motores son los más utilizados debido a que tienen un buen rendimiento, bajo costo de mantenimiento y una construcción relativamente sencilla, constan básicamente de tres partes que son: carcasa, estator y rotor (Pulido, 2013).

Los motores de corriente alterna se clasifican por su velocidad de giro en motores asíncronos y síncronos.

#### **Motores asíncronos**

Los motores asíncronos son también conocidos como motores de inducción ya que su funcionamiento está basado en la interacción de campos magnéticos procedentes de corrientes eléctricas. Constan de dos partes fundamentales que son:

**Estator:** El estator es la parte fija del motor, opera como base para facilitar que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras (Pulido, 2013).



**Rotor:** Es la parte móvil del motor que está situada dentro del estator y consiste en un núcleo de chapas de acero al silicio acaparadas que forman un cilindro, en cuyo interior se sitúa un bobinado eléctrico (Pulido, 2013).

En los motores asíncronos la velocidad de giro del rotor es levemente menor a la velocidad de giro del campo magnético del estator, esto se debe a la fricción del rotor en los cojinetes, rozamiento con el aire y a la carga conectada al eje del rotor, a esta diferencia de velocidades generalmente se la expresa en porcentaje, se lo conoce como deslizamiento y está representado por la ecuación (1) (Pulido, 2013).

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} * 100 \quad (1)$$

Donde:

s= Deslizamiento

n1= Velocidad Asíncrona

n2= Velocidad Rotórica

### **Motores síncronos**

Los motores síncronos son usados en máquinas grandes que necesitan una velocidad constante y tienen carga variable, son llamados motores síncronos debido a que la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético son iguales. En estos

motores la velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la red con la que sea alimentado y del número de polos que posee, siendo conocida esta velocidad como la velocidad de sincronismo y se representa en la ecuación (2) (Pulido, 2013).

$$n = \frac{120f}{Np} \quad (2)$$

Donde:

n= Velocidad Síncrona

f= Frecuencia

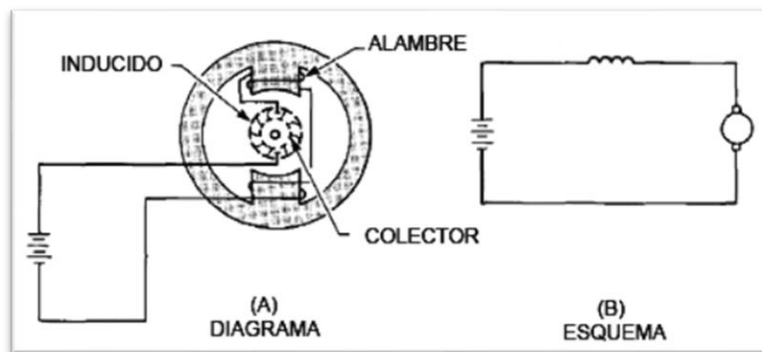
Np= Número de polos

### **2.2.2. Motores de corriente continua (DC)**

Los motores de corriente continua son máquinas que transforman la energía eléctrica continua en energía mecánica rotacional. Una de las características de este tipo de motores es la regulación de su velocidad cuando se encuentran al vacío y a plena carga; no pueden ser posicionados o enclavados en un ángulo específico. El sentido de giro que adopta este tipo de motores es de acuerdo a la alimentación aplicada. Las ventajas que presentan los motores en DC son: Buen par de arranque, un óptimo control de velocidad, gran capacidad de carga, proporciona grandes potencias, inversión de giro con cargas de gran inercia (Caiza, 2010).

## Motor Serie

Este tipo de motores están configurados con la conexión en serie entre el rotor y el estator como se observa en la Figura 2, la corriente que recorre es la misma por ambos elementos. El torque aumenta proporcionalmente de acuerdo al cuadrado del incremento de la corriente. La Potencia en este tipo de motores es constante a cualquier velocidad, cuando el motor tiene una gran carga; el campo serie genera un magnetismo más elevado lo cual le permite tener un torque mucho mayor desarrollando un muy buen torque en el arranque. El motor alcanza gran velocidad con cargas ligeras y poca velocidad con cargas grandes, si el motor deja de recibir una gran carga tiene a incrementar considerablemente la velocidad y puede dañar la parte mecánica del mismo (León, 2015).

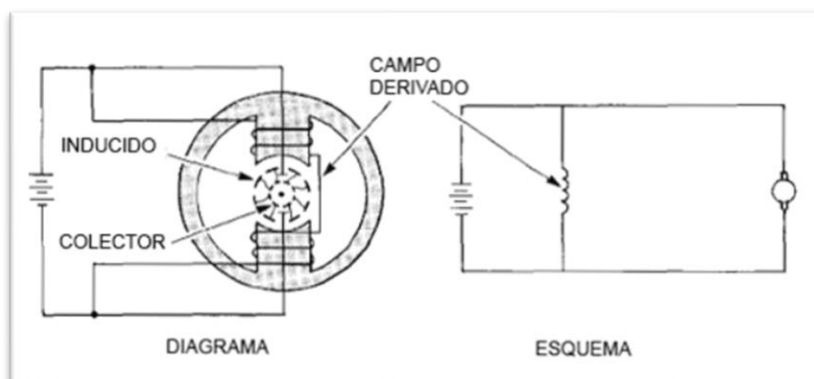


**Figura 2.** Motor serie de corriente continua  
Fuente (León, 2015)

## Motor Shunt

El motor shunt tiene la conexión en paralelo del rotor y del estator como se observa en la Figura 3, el torque y la velocidad de este tipo de motores son independientes a la carga,

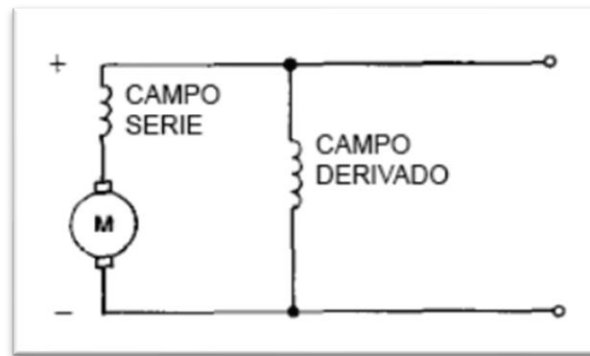
el control de velocidad del motor es exacto. El torque de este tipo de motores varía con la corriente a través del inducido, es usado en aplicaciones en la que la velocidad debe ser constante y con bajo par de arranque (León, 2015).



**Figura 3.** Motor shunt de corriente continua  
Fuente: (León, 2015)

### Motor Compuesto

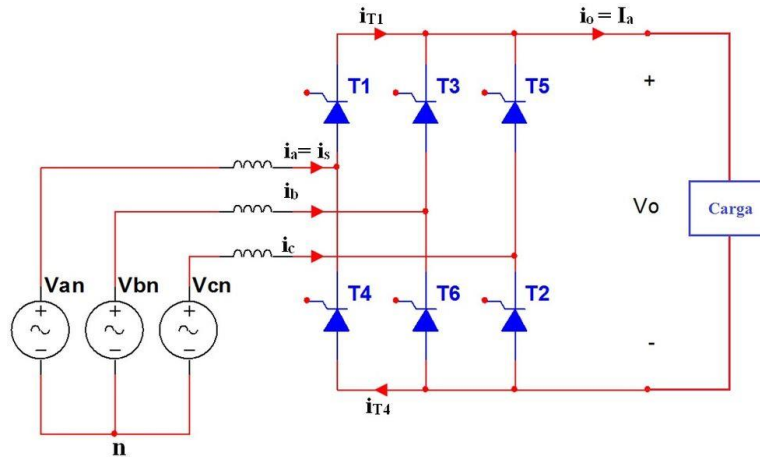
Este tipo de motores es una fusión de un motor serie y un motor shunt, tiene dos ramales para circuitos serie y paralelo como se observa en la Figura 4, este motor no sufre cambios significativos de velocidad al momento de variar repentinamente la carga. El par de arranque de este tipo de motores es mayor que el motor shunt, pero menor que el motor serie (León, 2015).



**Figura 4.** Motor compuesto de corriente continua  
Fuente: (León, 2015)

### 2.3. Conversores estáticos de energía

Los conversores son instrumentos que, debido al cierre y apertura de tiristores, diodos, mosfet, transistores, conocidos como switcheo, introducen armónicos a los sistemas eléctricos de corriente alterna. Son el núcleo de los sistemas electrónicos de potencia, existen varios tipos de conversores diseñados para cada tipo de señal de la entrada y salida del convertor (Gallego, 2014). En la Figura 5 se representa un circuito de un convertor estático de energía AC/DC controlado.



**Figura 5.** Conversor estático de energía AC/DC controlado

Fuente: (Yassack, 2011)

### 2.3.1. Conversor AC/DC

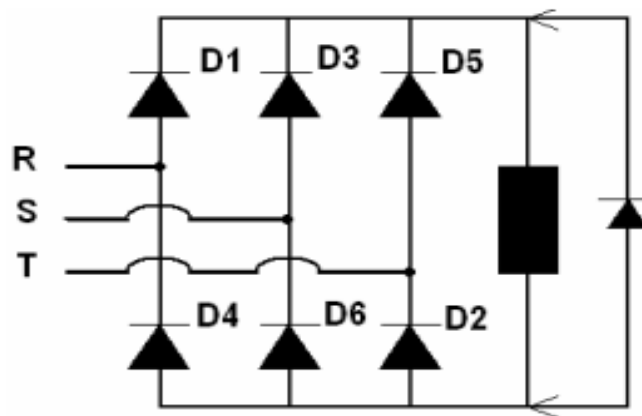
Los conversores AC/DC tienen como finalidad principal convertir la corriente alterna en corriente continua. Para obtener una corriente continua más pura se utilizan diferentes tipos de filtros que eliminarán perturbaciones a la salida.

Los conversores en función de la probabilidad de control se clasifican en:

- No controlados
- Semicontrolados
- Controlados

### a. Conversor AC/DC no controlado

Los convertidores no controlados están conformados en su totalidad por diodos, los diodos permiten que este tipo de convertidores provean de un voltaje de salida constante sin posibilidad de controlar su magnitud, obteniendo así también un valor de potencia constante a su salida. Son los de costo más bajo debido a que está conformado solo por diodos como se muestra en la Figura 6 (Chancusig, 2009).



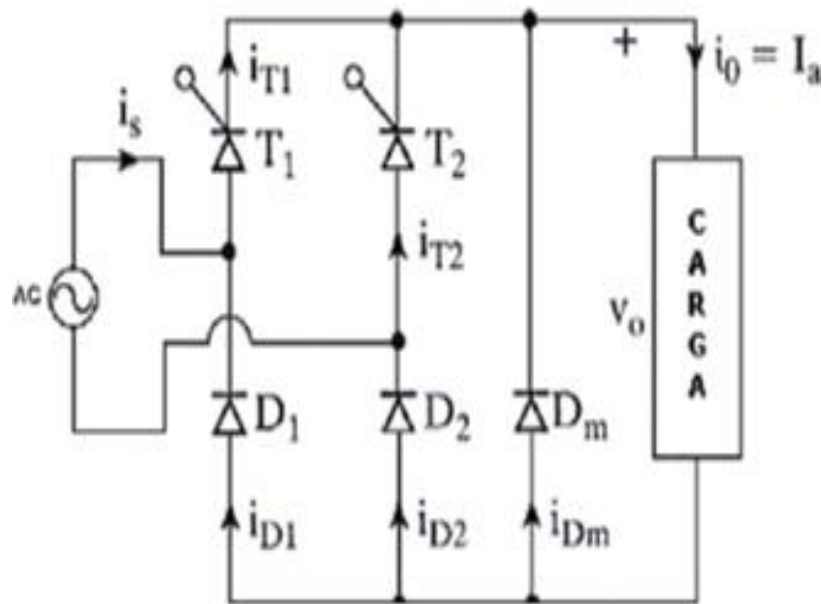
**Figura 6.** Conversor AC/DC no controlado de seis pulsos

Fuente: (Chancusig, 2009)

### b. Conversor AC/DC semicontrolado

Los convertidores AC/DC semicontrolados como el que se muestra en la Figura 7, tienen como finalidad generar una onda de corriente continua limpia. Es utilizado en aplicaciones de baja potencia y provocan saturación en las máquinas eléctricas en

especial en los transformadores, este tipo de convertidores tiene 50% diodos y 50% SCR que trabajan en un cuadrante (Silva, 2016).



**Figura 7.** Circuito de un convertidor semicontrolado monofásico

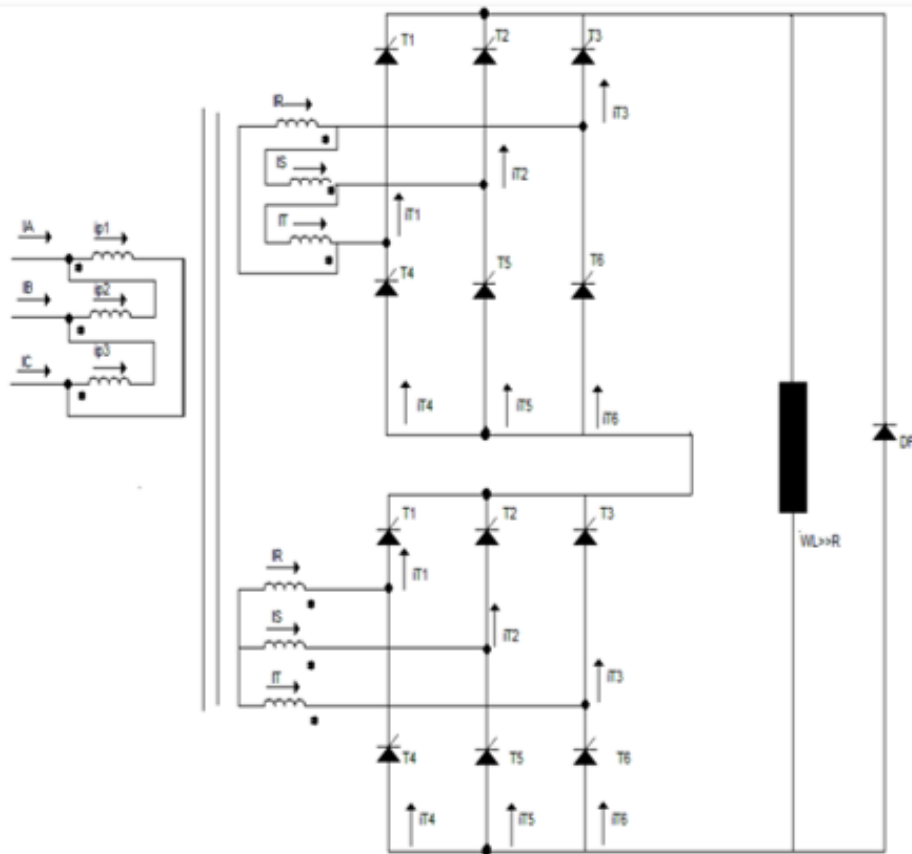
Fuente: (Silva, 2016)

### c. Conversor AC/DC controlado

En la Figura 8 se muestra un convertidor AC/DC controlado, en el cual las fuentes de tensión sinusoidales tienen amplitud, frecuencias balanceadas con fases equilibradas, los SCR's son considerados como interruptores permitiendo el flujo de corrientes en un solo sentido, no se considera la inductancia de la línea de alimentación (Chancusig, 2009).



La energía absorbida en la red es similar en cualquier configuración utilizada, una de las ventajas que este conversor brinda es la posibilidad de variar su ángulo de disparo que va desde 0 a 180°, donde da como resultado un voltaje y corriente variable a la salida del conversor que va desde cero hasta el voltaje nominal de la carga (Chancusig, 2009).



**Figura 8.** Conversor AC/DC controlado de 12 pulsos  
Fuente: (Chancusig, 2009)

## 2.4. Variadores de frecuencia

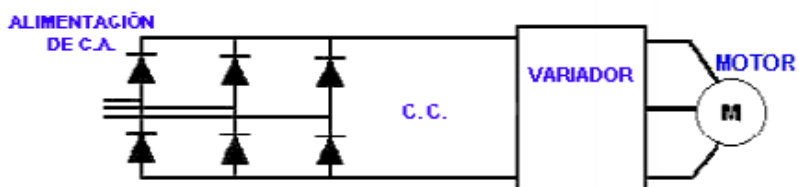
El variador tiene como objetivos cambiar la frecuencia en el voltaje de salida para tener como resultado cambios de velocidad en los motores de inducción, cambiando la

frecuencia eléctrica aplicada al estator; para cambiar este parámetro el variador realiza varias tareas de modulación que cambian la magnitud y la frecuencia de la tensión de salida aplicando el control escalar y el control vectorial. La relación de la tensión con la frecuencia en un motor a inducción deberá ser lineal, el funcionamiento del variador de velocidad va de acuerdo a la aplicación y al proceso (Benavides, 2018).

Un variador está conformado por dos etapas. La etapa de rectificación en donde la corriente alterna es convertida en corriente continua por medio de diodos o tiristores controlados y provee de voltaje para la etapa de inversión, en esta etapa la corriente continua es convertida en corriente alterna, utilizando semiconductores que son conmutados a frecuencias que generalmente oscilan entre los 2 y 16 kHz (Falconi, 2014).

#### **2.4.1. Variador de frecuencia de 6 pulsos**

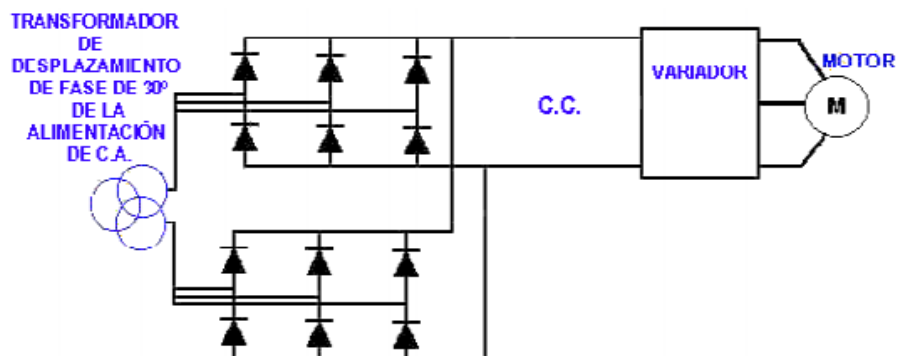
Este tipo de variadores de frecuencia trae empleado seis transistores que restablecen el enlace de corriente continua, cumpliendo algunos patrones para variar la frecuencia y el voltaje controlado el motor de corriente alterna. Uno de los sistemas más usados es la modulación del ancho de pulsos conocido en electrónica de potencia como el control PWM. Los armónicos se producen cuando el variador inicia su funcionamiento y consigue generar varios aspectos desfavorables con los equipos que están conectados a la misma red (Reitec, 2012). En la figura 9 se representa el circuito de un variador de frecuencia de 6 pulsos.



**Figura 9.** Variador de seis pulsos.  
Fuente: (Reitec, 2012)

#### 2.4.2. Variador de frecuencia de 12 pulsos

Este tipo de variador de frecuencia tiene 12 transistores, de esta manera puede contrarrestar la distorsión armónica del suministro, esto se logra gracias al empleo del doble de transistores disminuyendo la corriente obtenida en cada pulso. Los variadores que emplean el control de 12 pulsos tienen dos módulos de rectificación con 6 transistores cada uno; el segundo módulo se alimenta con un transformador de desplazamiento de fase (Reitec, 2012). La figura 10 se muestra un circuito de un variador de frecuencia de 12 pulsos.



**Figura 10.** Variador de 12 pulsos  
Fuente: (Reitec, 2012)

### 2.4.3. Variador de AC PowerFlex 70

El variador PowerFlex 70 de la marca Allen-Bradley que se muestra en la figura 11, es creado para ofrecer mayor ventaja a los usuarios ayudándoles a mejorar la productividad protegiendo el personal y los activos, gracias a sus características permite configurarlo para varias aplicaciones que van desde ventiladores hasta extrusoras (Allen-Bradley, Variadores de CA de bajo voltaje PowerFlex, 2015).



**Figura 11.** Variador de AC PowerFlex 70

Fuente: (Allen-Bradley, 2019)

### 2.4.4. Variador Siemens Micromaster 440

El variador de frecuencia Siemens Micromaster 440 realiza una regulación en el par y velocidad en motores trifásicos, están controlados por microprocesadores y utiliza IGBT que los hacen confiables, versátiles e ideal para una gran cantidad de aplicaciones de

control de motores, integrado o aislado de sistemas de automatización. Cuenta con varias funciones de protección que precautelan la seguridad del convertidor y del motor (Siemens, 2005).

#### 2.4.5. Variador Altivar 12

El Variador Schneider Altivar 12 que se muestra en la figura 12 está diseñado para aplicaciones que usan ciertas máquinas de consumo y máquinas a nivel industrial, integra una serie de tecnologías que hacen que su presencia pase desapercibido convirtiéndolo en una unidad confiable, eficiente, duradera y óptimo para una serie de aplicaciones de industria alimentaria, sector médico y sanitario, máquinas con zócalo monofásico y aplicaciones solares (Schneider, 2015).



**Figura 12.** Variador  
Altivar 12 ATV12H075M2  
Fuente: (Schneider, 2015)

#### 2.4.6. Variador de frecuencia ABB

Los variadores de frecuencia ABB como el que se muestra en la figura 13, se adaptan a cualquier proceso que los usuarios requieran gracias a su tecnología avanzada reduciendo los tiempos de inactividad inesperada y aumentando al máximo la productividad. Ofrecen confort, seguridad, simplicidad en sus procesos y además proporcionan ahorro de energía (ABB, Asea Brown Boveri Ltd, 2019).



**Figura 13.** Variador ABB ACS300  
Fuente: (ABB, 2017)

La tabla 1 resume algunas características de los variadores expuestos anteriormente.

Tabla 1

*Características técnicas de variadores de frecuencia.*

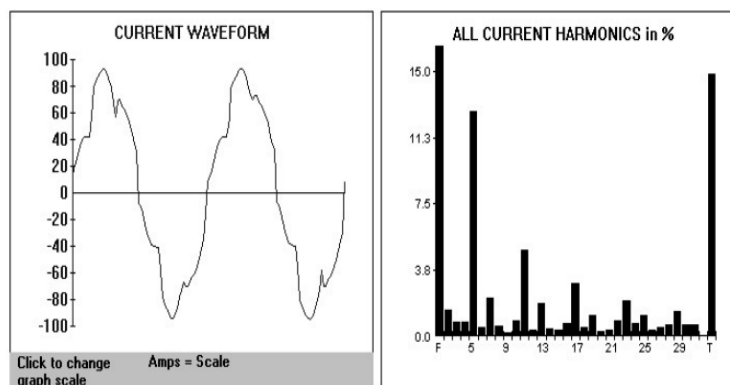
PARÁMETRO	POWERFLEX 70-3HP	MICROMASTER 440-1KW	ALTIVAR 12 1KW	ABB ACS3_1- 4P9-3HP
<b>Tensión de red</b>	240V +/-12%	200-240V; +/- 10%	200-240V; 15- 10%	220-440V
<b>Frecuencia de salida</b>	0 – 500 Hz	47-63 HZ	0.5-400HX	0-500 HZ
<b>Entradas analógicas</b>	<b>Voltaje bipolar o corriente;</b> <b>Voltaje unipolar o corriente</b>	<b>2</b>	<b>1 voltaje configurable (0-10V); (0-5V)</b>	<b>2</b>
<b>Salidas analógicas</b>	Voltaje unipolar o corriente	<b>2</b>	<b>1 voltaje y corriente configurable</b>	<b>2</b>
<b>Salidas de relé</b>	Cantidad <b>2</b> (formato C)		<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Factor de potencia</b>	-	0.95	0.96	0.9

Fuente: (Allen-Bradley, Variadores de CA de bajo voltaje PowerFlex, 2015), (Siemens, 2019) ,  
(Schneider, 2015) , (Jiménez, 2007)



## 2.5. Armónicos

Los armónicos son deformaciones de la onda sinusoidal de corrientes o de tensiones con frecuencia múltiplos de la frecuencia fundamental, en los medios eléctricos. Este efecto se produce debido a cargas no lineales, recalentamiento de cables, resonancia, uso de transformadores, motores y grandes corrientes en el neutro. El aumento de los armónicos puede causar un mal funcionamiento de muchos equipos en especial los industriales que fueron diseñados para trabajar con escasa distorsión armónica (Grajales, 2003). En la figura 14 se observa una forma de onda sinusoidal con su respectivo contenido armónico.



**Figura 14.** Forma de onda y contenido armónico de corriente  
Fuente: (Brugnoni, 2012)

### 2.5.1. Fuentes de generación de armónicos

Los armónicos se producen por el uso de cargas no lineales, presentando una onda no sinusoidal en respuesta a una onda sinusoidal. De acuerdo a la aplicación de cada uno de los elementos producen armónicos con valores impares típicos en relación a la onda fundamental (Arcila, 2012).

### **2.5.2. Fuentes de producción de armónicos en el futuro**

En un futuro se pronostica que existirá gran cantidad de armónicos en los sistemas eléctricos causados por diversas fuentes, en este caso es el incremento de los autos eléctricos que para cargar sus baterías se necesita grandes bancos de conversión de energía. Las energías renovables necesitarán transformar grandes cantidades de energía, el uso de ciclo convertidores para operar máquinas de baja velocidad, pero de gran torque, entre otras (Arciniega, 2018).

### **2.5.3. Distorsión armónica total**

Con la distorsión armónica total (THD) se evalúa cuanto cambia la forma de onda sinusoidal sea esta de voltaje o corriente que suministra la red, a medida que se va implementado cargas al sistema. El THD se puede definir de dos formas: THD-F y THD-R. (Katzn, 2017)

**THD-F:** Este THD muestra un porcentaje de la componente fundamental de la onda y viene dado por la siguiente ecuación (3).

$$THD_F = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{nrms}^2}}{I_{1rms}} * 100\% \quad (3)$$

**Donde:**

$I_{nrms}$  = Es el valor de corriente RMS del “n” armónico

$I_{1rms}$  = Es el valor RMS de la componente fundamental

**THD-R:** Este THD muestra un porcentaje en relación valor RMS total como se muestra en la ecuación (4).

$$THD_F = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{nrms}^2}}{I_{rms}} * 100\% \quad (4)$$

**Donde:**

$I_{nrms}$  = Es el valor de corriente RMS del “n” armónico

$I_{rms}$  = Es el valor RMS total

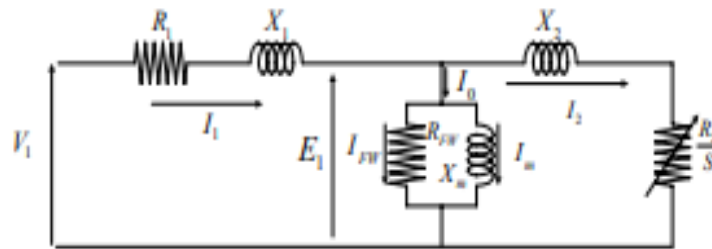
Combinando las ecuaciones (3) y (4) se obtiene una relación entre los dos tipos de THD que se muestra en la ecuación (5).

$$THD_R = THD_F \frac{I_{1rms}}{I_{rms}} \quad (5)$$

## 2.6. Estudio de armónicos en variadores de frecuencia

### 2.6.1. Armónicos con control V/f

El control escalar V/f logra que una máquina de inducción trabaje siempre con un par constante al mantener una relación lineal entre el voltaje y la frecuencia.



**Figura 15.** Circuito Equivalente Monofásico  
Fuente: (Morales, 2002)

En la figura 15 se muestra el circuito monofásico equivalente en el cual un control V/f basa su funcionamiento, mediante un estudio de los componentes armónicos en este circuito se obtiene la siguiente ecuación:

$$S_1 = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (6)$$

Donde:

$S_1$  = deslizamiento en p.u.

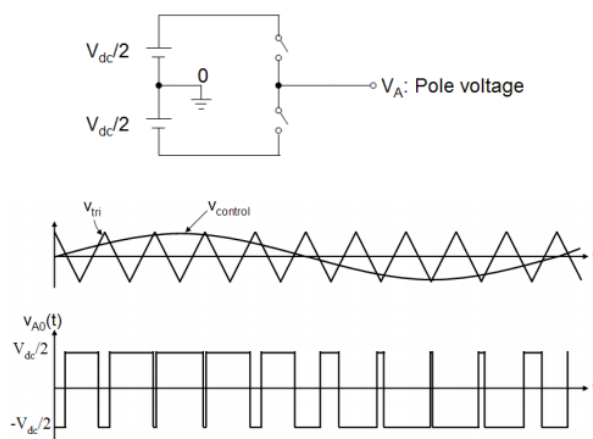
$n_1$  = velocidad sincrónica

$n$  = velocidad actual del motor

### **2.6.2. Armónicos con control PWM**

El control PWM es también conocido como modulación de ancho de pulso, generando pulsos a una frecuencia determinada originando la variación de los ciclos de trabajo. Para optimizar la energía con la modulación PWM se necesita una serie de posiciones de los ángulos analizados y generados por métodos computacionales y numéricos. Actualmente esta técnica de modulación PWM optimizada genera internamente los ángulos de conmutación por medio de la repetición de patrones de onda. La modulación PWM optimizada trabaja para disminuir el 5to y 7mo armónico, así disminuyendo considerablemente la distorsión armónica total (Lizcano, 2011).

En una aplicación del control PWM genera una onda de corriente para anular los armónicos obtenido mediante el convertidor controlado de corriente que usa un capacitor como fuente de DC, la onda generada se obtiene a partir de la apertura y cierre de los elementos de potencia variando así el ancho de pulso contrarrestando la distorsión armónica (Gómez, 2016). En la figura 16 se muestra ondas de voltaje con control PWM.

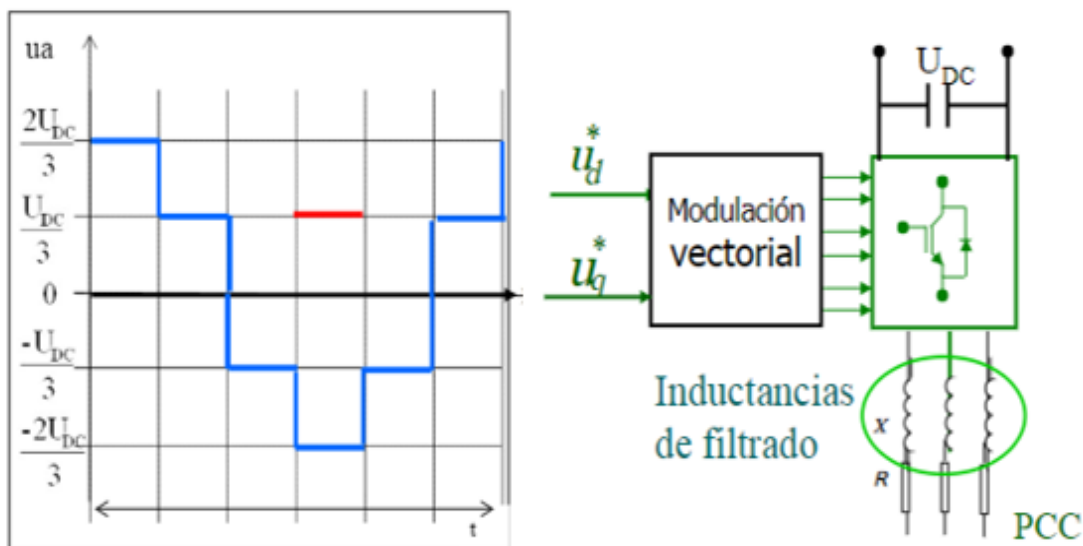


**Figura 16.** Modulación PWM

Fuente: (Pérez, 2016)

### 2.6.3. Armónicos con control vectorial SVM

El objetivo de este control es disminuir las pérdidas de conmutación, reducir el contenido armónico del suministro de salida, esta técnica se basa en la representación vectorial del voltaje trifásico manejado por ocho estados de conmutación. Esta modulación es la mejor opción para inversores ya que aprovecha el uso de la tensión de DC, es reducido el contenido armónico debido a que elige de una forma correcta y durante un tiempo razonable las conmutaciones de los interruptores del puente inversor (Contreras, 2005). En la figura 17 se visualiza la forma de onda y un circuito representativo del control vectorial.



**Figura 17.** Control Vectorial  
Fuente: (Chinchilla, 2012)

## 2.7. Efectos de los armónicos

### 2.7.1. Resonancia

El uso de aparatos con carga capacitiva e inductiva en un sistema eléctrico de potencia, en especial en las redes de distribución que tengan armónicos causa una anomalía llamada resonancia, variando considerablemente los valores de impedancia llegando a los límites más altos y bajos; esto causa la variación de voltaje y corriente en la red (Arciniega, 2018).

### 2.7.2. Aumento de las pérdidas

Los armónicos tienen varios efectos que producen pérdidas, el valor eficaz de la corriente  $I_{RMS}$  es superior a la fundamental  $I_1$  esto ocurre cuando la corriente contiene armónicos. Esto incita al incremento agregado de la temperatura de equipos, transformadores y cables. El voltaje con contenido armónico que ingresa a las maquinas asincrónicas provoca la generación de corrientes con frecuencias mayores a la nominal en rotor. El aumento de pérdidas los transformadores se dan por la circulación de corrientes con contenido armónico aumentando las pérdidas en las bobinas por el efecto Joule y también en el hierro producido por las corrientes de Foucault (Arciniega, 2018).

### 2.7.3. Sobrecargas en los equipos

Los armónicos causan varios efectos sobre los equipos que se alimentan de un suministro que los contenga produciendo varios efectos en varios de ellos como: los generadores que se ven afectados en la variación angular esta variación es de 10% para un generador que tiene 30% de cargas no lineales que obliga a sobre dimensionar al alternador. Otro de los equipos que presentan sobrecargas son los informáticos que tienen un factor de cresta elevado, por lo que la corriente eficaz no puede alimentar a los picos de corriente requeridos por este tipo de equipos provocando la sobrecarga. Las sobrecargas en el neutro se dan debido a que el sistema trifásico de 120 grados de



desfase ya no está balanceado causado por los armónicos llegando a obtener una corriente en el neutro más elevada de lo previsto (Arciniega, 2018).

## **2.8. Sistemas de supervisión de energía.**

Es necesario la implementación de un sistema de supervisión energética para mejorar la eficiencia de un proceso ya que la energía utilizada varía de acuerdo a los procesos de producción y esta energía relacionada con indicadores eléctricos o mecánicos que están inmersos en el proceso, permitirán obtener resultados relevantes sobre el uso correcto de energía. (Cárcel, 2015)

Un sistema de supervisión y análisis de energía implementado en cualquier tipo de instalación eléctrica debe estar enfocado en mejorar un proceso centrandolo su funcionalidad en tres objetivos primordiales: mejoras en producción, mejorar la confiabilidad de una instalación y ahorro de energía.

### **2.8.1. Ahorro de energía**

Los ahorros de energía están relacionados directamente con la demanda de energía, un sistema de supervisión permite asignar costes en base a su consumo real y a la potencia demandada y con la ayuda de un software para el procesamiento de la información obtenida, es posible realizar análisis en intervalos de tiempo que permitan

obtener conclusiones de cómo va evolucionando el consumo y tomar medidas al respecto.

## 2.9. Centrales de medida

Por medio de centrales de medida, es posible realizar el control del consumo y calidad de energía, entre sus funciones están: medir, visualizar y controlar el consumo de energía de una instalación eléctrica, calcular internamente valores RMS y medir directamente el THD tanto en corriente como en tensión, lo cual vuelve a un sistema óptimo y permite realizar una supervisión local y remota de los parámetros a medir (Aguinsaca & Miranda, 2015). En la figura 18 se presenta un medidor de energía inteligente.



**Figura 18.** Central de medida PM5100  
Fuente: (Schneider, Schneider Electric, 2013)

## 2.10. PLC

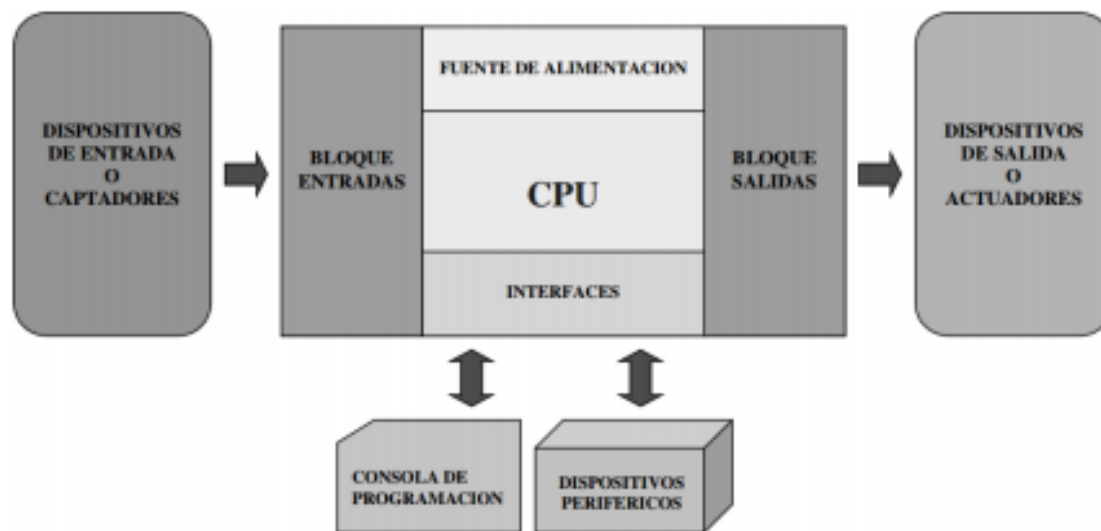
Los controladores lógicos programables (PLC), conforman la parte central de la automatización industrial en la actualidad se han utilizado para controlar y monitorear sus procesos disminuyendo los costos de producción e incrementando la misma. La mayoría de controladores tiene la técnica de programación conocida como Ladder o escalera. En la actualidad ha surgido una variedad de PLC con características propias en el lenguaje de programación sin tener mucha variación entre los controladores de diferentes marcas, se debe usar el software adecuado para cada tipo de PLC (Molina, 2016).

Los controladores son dispositivos creados para el control de procesos, basados en una lógica programable que combina información recibida por los sensores, procesan la información y envían señales a un actuador dependiendo de la lógica del programa. Los controladores son construidos por elementos de estado sólido, dispositivos con un solo procesador que se acoge a la lógica de la escalera. Actualmente existen PLC's de varios tipos con características especiales de acuerdo a la aplicación en la que se requiera de su aplicación (Molina, 2016).

La estructura de los PLC's es muy común en todos los tipos ya que presentan una memoria (CPU) tiene ranuras para entradas y salidas analógicas o digitales, que permite realizar cualquier tipo de aplicación. Los controladores tienen una estructura definida entre entradas, salidas y relés en su parte interior que sirve para enlazar con algún tipo de actuador (Molina, 2016).

### 2.10.1. Estructura interna de un PLC

La figura 19 muestra los distintos bloques que forman parte de la estructura interna de un PLC, en la misma se puede observar la Unidad Central de Proceso (CPU) en donde se ejecuta cada uno de los programas de usuario los cuales son cargados por medio de la consola de programación, gracias a las diversas zonas de memoria, registros, e instrucciones de programa (Heras, 2015).



**Figura 19.** Estructura interna de un PLC  
Fuente: (Heras, 2015)

### 2.10.2. Estructura externa de un PLC

Existen dos clasificaciones para las estructuras externas las cuales son:

**Compacta:** Los micro-PLC considerados de gama baja son los que suelen tener estructura compacta como se muestra en la figura 20, que presenta un solo bloque con todos sus elementos que son, memorias, CPU, fuentes de alimentación, entradas y salidas, etc.



**Figura 20.** PLC compacto Modicon M221  
Fuente: (Schneider, 2018)

**Modular:** Los PLC considerados de gama alta presentan estructura modular, cuya característica principal es que presentan un módulo para cada uno de los elementos que lo conforman, en la figura 21 se puede observar un PLC con estructura modular.



**Figura 21.** PLC modular Eaton XC  
Fuente: (EATON, 2019)

## 2.11. Protocolos de comunicación

Se puede definir a los protocolos de comunicación como reglas o normas a las que deben ajustarse los equipos que requieran comunicarse entre sí dentro de una red.

### 2.11.1. Protocolo MODBUS

El protocolo MODBUS ha llegado a ser de los más utilizados en la industria a comparación con otros protocolos, debido a su bajo costo, funcionalidad, su diseño de solicitud y respuesta y el manejo flexible de datos en una red de comunicación tipo SCADA, siendo uno de los más antiguos. MODBUS permite la comunicación de equipos bajo una arquitectura maestro/esclavo, el maestro es encargado de iniciar la interacción

entre los dispositivos con la capacidad de transferir datos con un número variable de esclavos que oscila entre en el rango de 1 a 247 (Flores, 2017).

El protocolo MODBUS contiene interfaces RS-232 que se emplea cuando es necesario transmitir y recibir datos de manera simultánea, RS-485 empleada para transmitir y recibir datos pero no es necesario hacerlo de manera simultánea, protocolo MODBUS TC/IP el cual está basado en la tecnología de ETHERNET con medio físico y dos protocolos basados en comunicación serial MODBUS RTU Y MODBUS ASCII (Flores, 2017).

### **2.11.2. Protocolo Profibus**

El protocolo Profibus permita la transferencia de datos de manera confiable entre dos tipos de equipos los cuales son denominados maestros y esclavos, los maestros también conocidos como estaciones activas envían datos de salida al esclavo también conocido como estaciones pasivas, y obtienen una respuesta (Barandica, 2015). El protocolo Profibus cuenta con tres perfiles detallados acentuación:

#### **a. Periferia Descentralizada (DP)**

Está orientado a actuadores o sensores que van a interactuar con PLC's, utiliza una interfaz RS-485.

**b. Automatización de procesos (PA)**

Para el control de procesos, por el mismo cable se puede realizar la alimentación y la transmisión de datos.

**c. Especificación de mensaje de bus de campo (FMS)**

Permite el intercambio de grandes cantidades de datos entre equipos de automatización. En este tipo de comunicación los tiempos de respuesta son más lentos ya que hace mayor énfasis en la funcionalidad que en la rapidez.

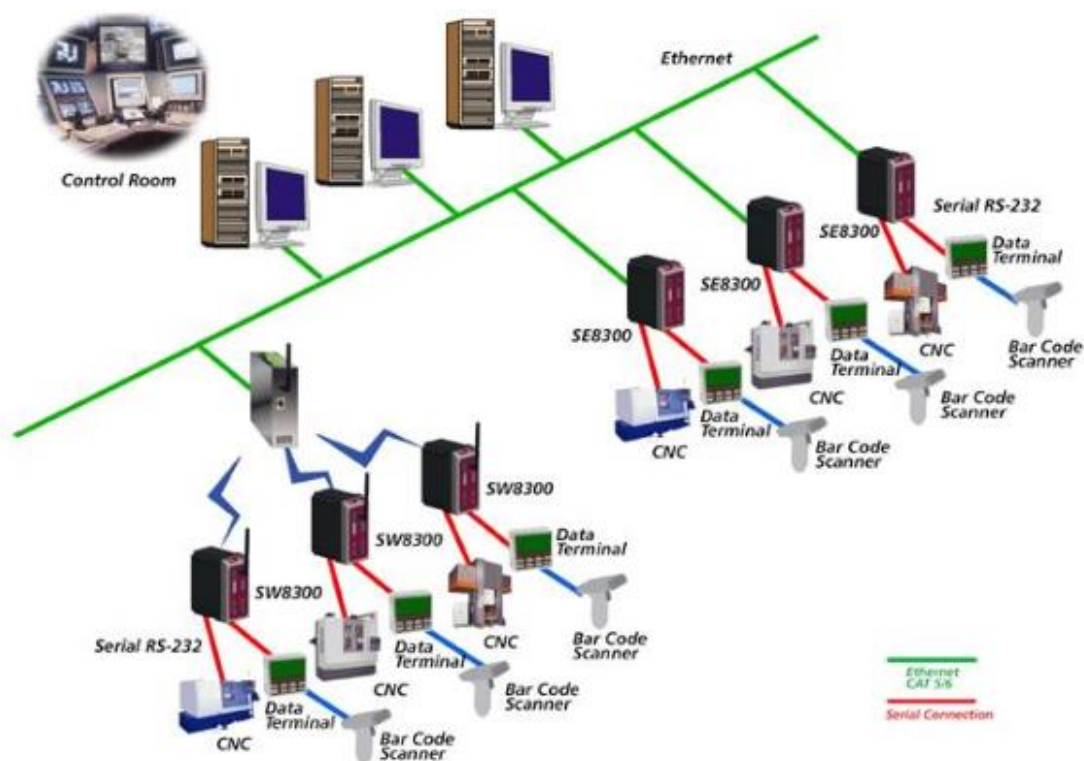
**2.11.3. Protocolo de comunicación Ethernet**

Los protocolos de comunicación están conformados por un grupo de formatos con reglas establecidas para obtener una comunicación entre el emisor y el receptor. Las reglas establecidas puntualizan la forma de cómo realizar la comunicación, secuencia, temporización, revisión y corrección de errores.

En estos protocolos se indica la estructura con la lógica de separar tareas de más alto nivel en relación a las tareas de bajo nivel, reduce la comunicación a partes más simples, hace posible la comunicación con distintos softwares, aísla los cambios de una capa con otra para que no interfieran entre ellas (Tolosa, 2002).



El Ethernet en la industria cada vez abarca más campos para dar paso a la automatización, para líneas de producción como para la administración de procesos, este tipo de comunicación requiere de un ancho de banda y manejo de tráfico en tiempo real, esta comunicación debe ser confiable debido a la información que lleva de varios procesos que funcionan sincronizadamente, tiene un enlace repetido para la tolerancia ante fallas (Friedrich, 2009). En la figura 22 muestra la representación de una comunicación con red Ethernet.



**Figura 22.** Protocolo de comunicación Ethernet  
Fuente: (Mogrovejo, 2014)

## **2.12. Interfaz Hombre - Máquina (HMI)**

Una interfaz hombre – máquina permite una interacción entre una máquina o proceso con un usuario u operador, facilitando el trabajo del usuario en tareas de supervisión, manipulación y control desde un solo sitio y con una interfaz amigable.

Una interfaz hombre - máquina resulta indispensable para la industrialización de procesos debido a que puede indicar el estado de un proceso, en caso de que se presente alguna avería o anomalía da señales de alarma que alertan al operador y este ejecutar acciones de mando y activar o desactivar equipos según sea necesario (Villacrés, 2015).

### **2.12.1. Funciones de un sistema HMI**

- Supervisión del proceso productivo
- Control de calidad de la producción
- Control de la productividad
- Mensajes de proceso, alarmas, averías, fallos y curvas de tendencias
- Programación de tareas y paradas
- Integración con máquinas para avisos de errores
- Posibilidades de actuar desde la pantalla (Villacrés, 2015).

### 2.13. Hipótesis

Con el diseño e implementación de un módulo didáctico que permita monitorear las magnitudes eléctricas, se podrá visualizar estas en tiempo real para poder realizar el análisis energético del sistema.

### 2.14. Variables de la investigación

**Variable independiente:** Diseño e implementación de un módulo didáctico para medición de magnitudes eléctricas en las estaciones de trabajo del laboratorio de Accionamientos Eléctricos.

**Variable dependiente:** Análisis de la energía eléctrica por medio de las magnitudes eléctricas medidas y registradas.

En la tabla 2 se detalla la operacionalización de la variable independiente

Tabla 2

Operacionalización de variable independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Diseño e implementación de un módulo didáctico para medición de magnitudes eléctricas en las estaciones de trabajo del laboratorio de Accionamientos Eléctricos.</b>	El diseño e implementación del módulo didáctico permite realizar la medición de magnitudes eléctricas con cargas lineales y no lineales en las estaciones de trabajo del laboratorio de Accionamientos Eléctricos	Estudio de los equipos disponibles en el laboratorio	Características de los equipos
		Determinar y adquirir lo equipos de medición a implementar	Multimedidor de energía
		Implementación de equipos	Multimedidores implementados en lugares específicos
		Programación de los multimedidores de energía	Pantalla de programación de los multimedidores
		Programación del controlador para la adquisición de datos	Programación
			Manejo de variables
	Diseño de la interfaz gráfica	Diseño de interfaz HMI	

En la tabla 3 se detalla la operacionalización de la variable dependiente.

**Tabla 3**

*Operacionalización de variable dependiente*

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>CONCEPTUAL</b>			
<b>Análisis de la energía eléctrica por medio de las magnitudes eléctricas medidas y registradas.</b>	La medición y registro de las magnitudes eléctricas permiten realizar un análisis de la energía eléctrica	Magnitudes eléctricas	Corrientes
			Voltajes
			Potencias
		Contenido armónico	THD's de corriente
			THD's de voltaje

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Antecedentes investigativos

El laboratorio de Accionamientos Eléctricos se implementó en la Universidad en el año de 1995, cuenta con cuatro estaciones de trabajo en la que se realizan prácticas relacionadas con la aplicación de los convertidores estáticos de energía, al control de velocidad en los motores eléctricos, etc.

Esta infraestructura permite que los estudiantes adquieran la capacidad de seleccionar, analizar y dimensionar los accionamientos de máquinas eléctricas, basados en el uso de normativas, catálogos y documentación técnica.

El equipamiento actual para las mediciones de las magnitudes eléctricas como: corriente, voltaje, potencia, factor de potencia, entre otras son de tecnología analógica, uno de los principales usos es el de accionamientos que combinan las máquinas eléctricas con la electrónica de potencia, donde las mediciones requieren análisis de calidad de la energía, como es la distorsión armónica THD imposibilitando realizar con los equipos disponibles.

Actualmente la utilización de sistemas electrónicos diversos en la red, ha provocado distorsiones en el voltaje y corriente; lo que traduce la deficiencia en la calidad de la energía eléctrica.

La propuesta por tanto es implementar medidores inteligentes de energía ubicados en cada uno de los puestos de trabajo, los mismos que puedan medir las magnitudes eléctricas como son: voltaje, corriente, potencia, factor de potencia y THD's de voltaje y corriente. Los datos obtenidos por los medidores se transmiten a un controlador lógico programable que es el encargado de enviar a una base de datos de un computador para almacenarlos, permitiendo que sean descargados. Con estos medidores se implementa un sistema de monitoreo HMI para la supervisión en tiempo real.

(Cárcel, 2015), en su publicación Supervisión de energía para monitorización y control de consumo eléctrico un caso práctico, menciona que para fomentar el ahorro de energía eléctrica se requiere de un monitoreo en los elementos de mayor demanda, las grandes empresas deben enfocarse en el control, ser eficientes en el uso de la energía y de esta forma mejorar su proceso productivo.

**Fuente especificada no válida.**, en su publicación Medida y regulación de la calidad de la energía eléctrica, menciona que es necesario analizar los aspectos más relevantes de la calidad de energía eléctrica para de esta manera asegurar competitividad y un avance económico en las empresas, se requiere el desarrollo de equipos específicos para realizar el análisis y evaluar la calidad de energía eléctrica, siendo eficiente en estas

actividades se puede entender el funcionamiento y las principales características de un sistema eléctrico e inclusive identificar problemas que podrían afectar a los usuarios antes de que estos sucedan.

**Fuente especificada no válida.**, en su publicación Gestión de la calidad de la energía eléctrica, menciona que en las últimas décadas la calidad de energía ha sido sujeta a efectos negativos debido al incremento de cargas no lineales en sistemas eléctricos, como computadoras y los variadores de frecuencia, una mala calidad de energía acarrea el incremento de pérdidas de energía lo cual puede afectar la producción llevando a las empresas a tener problemas en su economía y en su capacidad de competir con otras, estas deben monitorear y mejorar el comportamiento de indicadores de calidad de energía y así tener un uso eficiente de este recurso.

**Fuente especificada no válida.**, en su publicación Análisis de los datos de medición de armónicos variables en el tiempo, menciona que en la actualidad debido al uso de dispositivos electrónicos de potencia en cargas que pueden ser residenciales, comerciales o industriales, los sistemas de suministro eléctrico han estado sujetos a un incremento en el nivel de armónicos, cuya presencia afecta a elementos como transformadores, conductores y motores eléctricos provocando el incremento de las pérdidas y sobrecalentamiento, por este motivo es necesario que las empresas de servicio eléctrico evalúen con frecuencia la calidad de la energía suministrada, a través de programas de medición para determinar si los niveles de armónicos se encuentran dentro de los límites recomendados por las normas correspondientes.



## **3.2. Modalidad de la investigación**

Para realizar el proyecto mencionado se hará uso de la investigación bibliográfica que permitirá obtener información relacionada al tema y criterios que se puedan usar para elaboración del proyecto, se podrá obtener conclusiones sobre lo que el proceso para el desarrollo del mismo requiere mediante un método inductivo para realizar una investigación experimental de lo desarrollado y verificar si se satisface los requerimientos planteados.

## **3.3. Tipos de investigación**

### **3.3.1. Investigación bibliográfica**

Este proyecto inicia con la revisión de los catálogos y manuales de operación de los equipos existentes en el laboratorio, posteriormente se realiza la adquisición de información tomada de artículos científicos, revistas, catálogos, experimentos; adquiriendo conocimientos teóricos muy valiosos para el desarrollo y elaboración de un módulo didáctico que permita el análisis de la energía eléctrica.

La información y datos importantes que el sistema busca adquirir son significativos para el análisis de la calidad de la energía eléctrica, que incluye la selección de los medidores de energía inteligentes.

### **3.3.2. Investigación del método inductivo**

Mediante el método inductivo se obtendrá una base teórica y práctica, con cuyos resultados se podrá tener conocimiento sobre equipos utilizados en proyectos relacionados a supervisión de energía y calidad de la misma, y todas las magnitudes necesarias para implementar nuestro proyecto en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

### **3.3.3. Investigación experimental**

Esta investigación se emplea para la selección de equipos, inicia con un análisis de los equipos con sus características técnicas que existen en el mercado, los mismos que pueden ser utilizados en la supervisión de energía eléctrica enfocado al análisis de la calidad de la misma, se obtiene información mediante pruebas realizadas en el Laboratorio de accionamientos eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Extensión Latacunga.

### **3.3.4. Diseño de la investigación**

Este proyecto de investigación tiene como finalidad realizar un módulo didáctico para el análisis de energía eléctrica en el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, usando medidores inteligentes de energía en cada estación de trabajo, con esto obtenemos datos de

magnitudes eléctricas que posteriormente serán acondicionados para su visualización en un centro de monitoreo, permitiendo observar las cuatro estaciones de trabajo presentes en el laboratorio.

### **3.4. Niveles de la investigación**

#### **3.4.1. Exploratoria**

En el primer nivel de la investigación se indaga las necesidades que se presentan en el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, y se percibe la importancia de mejorar los sistemas de monitoreo de la energía eléctrica en cada estación de trabajo. En base a este análisis se logra obtener un panorama claro del proyecto.

#### **3.4.2. Descriptiva**

Este nivel de investigación es utilizado para plantear la hipótesis, se consigue definir el proceso preciso del proyecto que refleja la necesidad de supervisar la energía eléctrica al utilizar variadores de velocidad o convertidores de energía y determinar cómo influyen estos elementos en la calidad de energía.

### 3.4.3. Investigación explicativa

En el último nivel es importante la descripción del proyecto y se expone las diferentes causas que establecieron el análisis y estudio, en la cual se exige la explicación del objeto del proyecto, con el fin de responder a las preguntas. ¿Qué necesidad tiene las estaciones de trabajo?, ¿cómo solucionar los requerimientos existentes en las estaciones de trabajo?, dando a notar que existe la necesidad en el monitoreo de la energía eléctrica, lo que afecta a la calidad de la energía logrando confirmar la hipótesis.

### 3.4.4. Población y muestra

Por medio de un análisis minucioso del proyecto mediante una serie de preguntas se alcanza una respuesta a la necesidad propuesta en el capítulo uno del presente proyecto, estas preguntas se encuentran en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Preguntas base para la solución de problemas*

	<b>Preguntas Básicas</b>	<b>Respuestas Obtenidas</b>
<b>1</b>	¿Para qué?	Para el análisis de la energía eléctrica.
<b>2</b>	¿De qué personas u objetos?	De las estaciones de trabajo
<b>3</b>	¿Sobre qué aspecto?	Visualización y almacenamiento de magnitudes eléctricas

CONTINÚA



4	¿Quién? ¿Quiénes?	Investigadores
5	¿Cuándo?	2019
6	¿Dónde?	En el laboratorio de Accionamiento Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
7	¿Cuántas veces?	Una vez
8	¿Qué técnicas?	Monitoreo y control
9	¿Con qué?	Medidores inteligentes de energía eléctrica, PLC.
10	¿En qué situación?	En un proceso de funcionamiento

### 3.5. Técnicas de recolección de datos

#### 3.5.1. Observación del laboratorio

Mediante la técnica de observación se puede obtener información de cómo satisfacer las necesidades del laboratorio, lo cual facilita la selección adecuada de equipos para la implementación del proyecto, siendo necesario contar con medidores inteligentes de energía que cuenten con la opción de medir THD's de corriente y voltaje para realizar un análisis de energía.

#### 3.5.2. Instrumentos de medición

Los datos que se necesitan para el análisis de energía eléctrica se obtienen de cuatro medidores inteligentes de energía eléctrica, distribuidos uno en cada estación de trabajo,

los mismos tienen un protocolo de comunicación en común, que facilita la interacción entre la información que se obtiene de cada estación de trabajo y el PLC el cual recibe los datos para obedecer a la lógica de programación diseñada de acuerdo a las necesidades, por medio de esta adquisición de datos los mismos que enlazados con el HMI-Pc-System se los puede visualizar y tener datos reales de lo que ocurre en ese instante.

### **3.5.3. Técnicas de análisis de datos**

Para el análisis de datos se implementó diferentes tipos de circuitos con cargas no lineales, los cuales generan contenido armónico que se puede determinar mediante un analizador de redes, de este se obtiene valores de voltaje, corriente, potencias y THD's de cada una de las líneas. Además, se puede comparar la variación que existe al tener diferentes tipos de cargas en la cantidad de armónicos que cada una de estas producen.

Para realizar el análisis de los datos obtenidos podemos hacer referencia a los siguientes criterios:

- Obtención de datos mediante pruebas piloto
- Análisis de datos
- Interpretación de reportes
- Comparación de parámetros

#### **3.5.4. Técnicas de comprobación de hipótesis**

Por medio de los datos obtenidos de las magnitudes eléctricas de cada una de las estaciones de trabajo, se logra monitorear en tiempo real cuando estas se encuentran en funcionamiento, para realizar un análisis energético del sistema.

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

En el presente capítulo se detalla los resultados obtenidos de la investigación, con el fin de seleccionar los equipos y de iniciar la puesta en marcha del proyecto tomando en cuenta que los objetivos se cumplan con la ejecución del mismo.

Para medir los armónicos existen analizadores de red que muestran un parámetro llamado THD (distorsión armónica total), el cual nos proporciona datos en porcentaje indicando que la señal de energía no es 100% pura. Existen varias normas que regulan la calidad de la energía, una de las normas de la IEEE para el control de armónicos es la IEEE 519-1922, analiza los armónicos producidos por cargas no lineales con el objetivo de prevenir los problemas de la calidad de energía, la Regulación 003-08 del ARCONEL regula la Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado, la misma que en Ecuador regula los límites permitidos de producción armónica a la red.

#### **4.1. Análisis de resultados**

##### **4.1.1. Medición de variables eléctricas en estaciones de trabajo**

En el laboratorio de accionamientos eléctricos existen 4 estaciones de trabajo compuesto con varios instrumentos de medición analógica, fuentes variables de voltaje,



convertidores de energía AC/DC, variadores de frecuencia, motores de diferentes configuraciones y tipos. Con los instrumentos de medida se pueden realizar mediciones exclusivamente con cargas lineales.

Uno de los instrumentos de medición que ayuda a visualizar de mejor manera los parámetros eléctricos es el analizador de energía eléctrica FLUKE 434, el cual mide: desfase de ángulo de voltajes y corrientes, armónicos presentes en la red cuando la carga es no lineal, graficas de ondas de voltaje de corriente, THD, entre otros parámetros que son necesarios para realizar un levantamiento de información con datos indispensables para un estudio eléctrico.

#### **4.1.2. Medición de variables eléctricas en un motor asincrónico trifásico.**

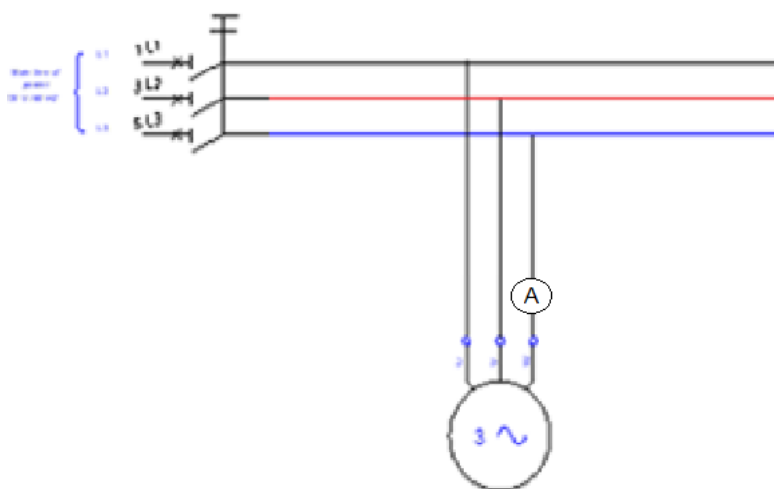
En una de las prácticas realizadas para obtener información se conectó un motor de inducción con carga y sin carga como se muestra en la figura 23, para realizar las mediciones de las magnitudes eléctricas como son: medida de potencia en cada fase, factor de potencia, THD de corriente, THD de voltaje, corrientes y voltaje en cada una de las fases. Los datos recopilados se tomaron del analizador de energía FLUKE 434.

En la práctica se conectó directamente el motor asincrónico trifásico Nr. 004.003 a la red eléctrica, la conexión del motor se realizó en configuración "Y".

En la placa de características del motor se encuentran valores nominales para su óptimo funcionamiento los cuales son:  $V=220V$  "Y",  $P=0,3KW$ ,  $I=1,75A$  y  $FP=0,74$ .

a. Equipos para implementar el circuito de un motor asincrónico trifásico.

- Amperímetro de CA.
- Voltímetro de CA.
- Velocímetro.
- Analizador inteligente de energía FLUKE 434.
- Motor asincrónico trifásico (004-003).
- Cables de conexión.



Nr. 004.003

**MOTOR ASINCRÓNICO TRIFÁSICO**

**Figura 23.** Conexión del motor asíncrono trifásico

**b. Medición de parámetros del motor asincrónico trifásico en vacío.**

En esta práctica se obtiene las mediciones de los parámetros eléctricos que se detallan en la tabla 5, al conectar un motor asincrónico trifásico funcionando a voltaje nominal,

pero sin aplicarle ninguna carga lo cual no disminuye la velocidad ni tampoco aumenta la corriente.

**Tabla 5**

*Magnitudes eléctricas de un motor asincrónico trifásico en vacío.*

<b>Magnitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>Total</b>
<b>Voltaje (V)</b>	127,2	127,4	128,1	
<b>Corriente (A)</b>	1,4	1,5	1,4	
<b>THD de voltaje (%)</b>	1,4	1,6	1,4	
<b>THD de corriente (%)</b>	2,6	2,2	2,8	
<b>Potencia activa (W)</b>	40	40	40	120
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	180	180	180	540
<b>Potencia aparente (VA)</b>	180	190	180	550
<b>PF</b>				0.22
<b>Frecuencia (Hz)</b>				59,97

En esta tabla se observa el comportamiento del motor asincrónico trifásico en vacío, mostrando así parámetros que no se acercan a los nominales, presentan corrientes bajas, un factor de potencia bajo, así mismo un pequeño contenido armónico de voltaje y corriente.

**c. Mediciones de parámetros del motor asincrónico trifásico con carga a corriente nominal.**

La carga suministrada es producida por el mando de freno que simula una carga ajustándola hasta que la corriente sea la nominal, los parámetros eléctricos medidos se detallan en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Magnitudes eléctricas de un motor asincrónico trifásico con carga a corriente nominal.*

<b>Magnitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>Total</b>
<b>Voltaje (V)</b>	126,1	126,5	127,1	
<b>Corriente (A)</b>	1,7	1,7	1,7	
<b>THD de voltaje (%)</b>	1,5	1,9	1,6	
<b>THD de corriente (%)</b>	1,3	1,4	1,2	
<b>Potencia activa (W)</b>	160	160	160	480
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	140	150	140	430
<b>Potencia aparente (VA)</b>	210	220	220	650
<b>PF</b>				0,74
<b>Frecuencia (Hz)</b>				59,99

En esta tabla se observa el comportamiento del motor asincrónico trifásico con carga a corriente nominal, una vez aplicado el mando de freno hasta que la corriente en el motor

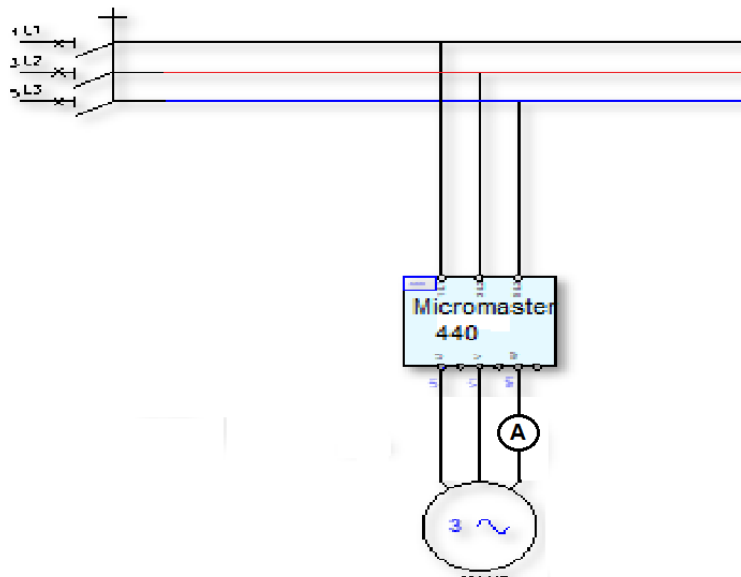
medida por el amperímetro sea 1,75 A. Se presentaron algunas variaciones de parámetros en comparación cuando el motor está en vacío, el cambio se observa en especial en la corriente, así mismo el factor de potencia se incrementa y se acerca al nominal, las potencias suben significativamente y el THD de corriente y de voltaje sigue teniendo valores bajos ya que el motor está siendo alimentado por la red.

#### **4.1.3. Medición de magnitudes eléctricas en el variador de frecuencia Micromaster 440.**

La variación de frecuencia se logra con el uso del variador Micromaster 440 el mismo que se encuentra conectado a un motor asíncrono trifásico como se muestra en la figura 24, las magnitudes cambian a medida que la frecuencia baje o suba de los 60 Hertz que la red provee.

##### **a. Materiales y equipos para implementar el circuito de un motor con un variador de frecuencia.**

- Variador de frecuencia Micromaster 440.
- Motor trifásico asíncrono (004-003)
- Analizador de energía
- Amperímetro de CA
- Voltímetro de CA.



**Figura 24.** Circuito de un motor asincrónico con el variador de frecuencia Micromaster 440.

En la tabla 7 se presentan las características técnicas principales del variador de Siemens Micromaster 440 con serie 6SE6440-2UC17-5AA1.

**Tabla 7**

*Características técnicas del variador de frecuencia Micromaster 440*

VARIADOR DE FRECUENCIA MICROMASTER 440	
<b>ENTRADA</b>	
Número de fases	1/3 AC
Voltaje	200 – 240 V $\pm$ 10%
Frecuencia	47 – 63 Hz
Corriente nominal	8.20 A / 4.70 A
<b>SALIDA</b>	
Número de fases	3AC

CONTINÚA



<b>Voltaje</b>	240 V
<b>Potencia</b>	0.75 KW / 1 hp
<b>Corriente</b>	3.90 A
<b>Frecuencia de pulso</b>	16000 Hz
<b>Frecuencia para el control V/f</b>	0 – 650 Hz
<b>ESPECIFICACIONES GENERALES</b>	
<b>Factor de potencia</b>	0.95
<b>Rendimiento</b>	0.96

Fuente: (Siemens, 2019)

En la tabla 8 se detalla el código de programación empleado en el variador de frecuencia Micromaster 440 que permite regular la frecuencia al valor que el usuario lo requiera.

**Tabla 8**

*Código para frecuencia regulable para el variador Micromaster 440.*

<b>CÓDIGO</b>	<b>MANDO</b>	<b>DETALLE</b>
<b>P010</b>	30	Ajuste de fabrica
<b>P0970</b>	1	Reset
<b>P010</b>	1	
<b>P0100</b>	2	Potencia en Hp frecuencia estándar en 60 Hz
<b>P0304</b>	1	Tensión nominal del motor
<b>P0305</b>	1	Corriente nominal 1.75 A
<b>P0307</b>	1	Potencia nominal 0.3 KW
<b>P0310</b>	1	Frecuencia requerida del motor 60 Hz

CONTINÚA



<b>P0311</b>	1	Velocidad nominal del motor 1630
<b>P0700</b>	0(1)	Dos bornes de entradas digitales
<b>P1000</b>	0(1)	Consigna analógica
<b>P1080</b>	1	Frecuencia mínima del motor 0 Hz
<b>P1082</b>	1	Frecuencia máxima del motor 60 Hz
<b>P1120</b>	1	Tiempo de aceleración 10 seg
<b>P1121</b>	1	Tiempo de desaceleración 10 seg
<b>P3900</b>	1	Fin de la puesta de servicio rápido

El código puede variar de acuerdo a la configuración y aplicación que el usuario vea necesario, este tipo de código queda guardado en el variador hasta que sea reseteado a sus parámetros de fábrica.

**b. Control de un motor asíncrono trifásico en vacío con un variador de frecuencia Micromaster 440 a frecuencia de 30 Hz alimentado con línea trifásica.**

En la tabla 9 se muestran los valores de las magnitudes eléctricas medidas al conectar un motor asíncrono trifásico funcionando en vacío a un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz.



**Tabla 9**

*Variables eléctricas del motor asincrónico trifásico en vacío con 30 Hertz.*

<b>Magnitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>Total</b>
<b>Voltaje (V)</b>	125,9	125,9	126,3	
<b>Corriente (A)</b>	0,5	1,1	1,0	
<b>THD de voltaje (%)</b>	1,6	1,8	1,7	
<b>THD de corriente (%)</b>	89,0	88,0	93,2	
<b>Potencia activa (W)</b>	40	60	30	130
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	10	-10	-20	-20
<b>Potencia aparente (VA)</b>	40	60	30	130
<b>PF</b>				0.40
<b>Frecuencia (Hz)</b>				60.02

El variador de frecuencia en este caso está proporcionando un valor de frecuencia de 30 Hz al motor, permitiendo observar con el analizador de energía que: el THD de corriente aumenta considerablemente en relación a los datos de prácticas anteriores, el THD de voltaje tiene valores pequeños, el factor de potencia es bajo y la potencia reactiva total tiene un valor negativo.

**c. Control de un motor asincrónico trifásico en vacío con un variador de frecuencia Micromaster 440 a frecuencia de 60 Hz alimentado con línea trifásica.**

En la tabla 10 se muestran los valores de las magnitudes eléctricas medidas al conectar un motor asíncrono trifásico en vacío a un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz.

**Tabla 10**

*Variables eléctricas del motor asíncrono trifásico en vacío con 60 Hertz.*

<b>Magnitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>Total</b>
<b>Voltaje (V)</b>	126,0	125,9	126,9	
<b>Corriente (A)</b>	0,6	1,1	0,9	
<b>THD de voltaje (%)</b>	1,4	1,7	1,6	
<b>THD de corriente (%)</b>	89,1	88,4	92,9	
<b>Potencia activa (W)</b>	30	70	40	140
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	10	0	-30	-10
<b>Potencia aparente (VA)</b>	30	70	50	150
<b>PF</b>				0,39
<b>Frecuencia (Hz)</b>				60,01

El valor de frecuencia que en este caso suministra el variador al motor es de 60 Hz, el analizador arroja medidas con valores elevados en el contenido armónico de la corriente, así como también un valor de THD de voltaje bajo, el factor de potencia no presenta una variación considerable en comparación al valor de la práctica anterior.

**d. Control de un motor asincrónico trifásico con carga y con un variador de frecuencia Micromaster 440 a frecuencia de 30 Hz alimentado con línea trifásica.**

En la tabla 11 se muestran los valores de las magnitudes eléctricas medidas al conectar un motor asíncrono trifásico a corriente nominal (1.75A), a un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz.

**Tabla 11**

*Variables eléctricas del motor asincrónico trifásico a corriente nominal y 30 Hertz.*

<b>Magnitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>Total</b>
<b>Voltaje (V)</b>	126,1	126,8	127,6	
<b>Corriente (A)</b>	1,4	2,1	1,7	
<b>THD de voltaje (%)</b>	1,7	1,6	1,7	
<b>THD de corriente (%)</b>	85,3	84,4	89,4	
<b>Potencia activa (W)</b>	90	150	90	330
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	30	-10	-50	-30
<b>Potencia aparente (VA)</b>	95	145	100	340
<b>PF</b>				0.47
<b>Frecuencia (Hz)</b>				59,99

El valor que suministra en este caso el variador de frecuencia al motor es de 30 Hz. El contenido armónico de corriente permanece elevado mientras que el de voltaje sigue siendo bajo y el factor de potencia sube.

**f. Control de un motor asincrónico trifásico con carga y con un variador de frecuencia Micromaster 440 a frecuencia de 60 Hz alimentado con línea trifásica.**

En la tabla 12 se muestran los valores de las magnitudes eléctricas medidas al conectar un motor asíncrono trifásico a corriente nominal de 1,75 A, a un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz

**Tabla 12**

Variables eléctricas del motor asincrónico trifásico a corriente nominal y 60 Hertz

<b>Magnitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>Total</b>
<b>Voltaje (V)</b>	126,	126,6	127,1	
<b>Corriente (A)</b>	2,1	2,7	2,2	
<b>THD de voltaje (%)</b>	1,5	1,8	1,7	
<b>THD de corriente (%)</b>	82,1	82,1	85,7	
<b>Potencia activa (W)</b>	150	190	130	470
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	20	-30	-40	-50
<b>Potencia aparente (VA)</b>	150	195	135	480
<b>PF</b>				0.54
<b>Frecuencia (Hz)</b>				59,99

El valor que suministra en este caso el variador de frecuencia al motor que tiene una carga aplicada hasta llegar a su corriente nominal, es de 60 Hz. Las potencias empiezan

a tener valores mayores en comparación a las pruebas anteriores, el contenido armónico de la corriente empieza a bajar, el factor de potencia esta vez se mejora.

De acuerdo con todas estas pruebas realizadas se pudo observar que al conectar un variador de frecuencia (en este caso el Micromaster 440), se tiene contenido armónico elevado en la corriente de línea de la red, la manera más óptima de trabajar con los motores controlados por estos dispositivos que varían algunos de los parámetros eléctricos, es el de llegar a los valores nominales ya que se reduce contenido armónico y el factor de potencia se mejora y ayuda a mantenerse en los límites permisibles que las empresas que suministran el servicio lo recomiendan.

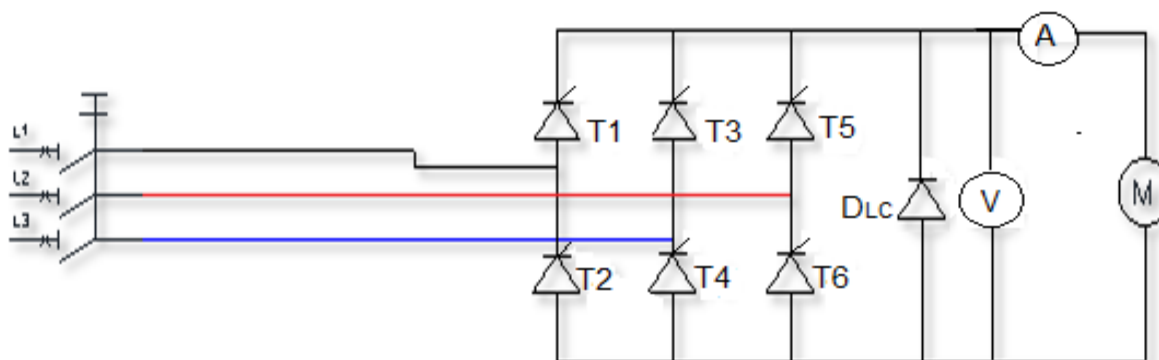
#### **4.1.4. Medición de variable eléctricas al conectar un motor DC a un conversor controlado AC/DC trifásico.**

Con el uso de los rectificadores trifásicos conectados a un motor DC de excitación independiente como se muestra en la figura 25, se realizaron las diferentes mediciones tanto en la entrada como en la salida del conversor.

##### **a. Equipos para implementar el circuito de un conversor controlado AC/DC trifásico.**

- Módulo mando de tiristores 010.441.
- Amperímetro de CA

- Voltímetro de CA.
- Velocímetro.
- Multímetro Digital.
- Motor de corriente continua de excitación independiente (004-060).
- Analizador de calidad de energía FLUKE 434.
- Cables de conexión.



**Figura 25.** Esquema de conexión del conversor no controlado AC/DC trifásico.

### **b. Mediciones en el conversor controlado AC/DC trifásico con carga a corriente nominal.**

El conversor AC/ DC rectifica una señal sinusoidal y la convierte en una señal de DC, se establece el voltaje de salida del conversor en 220V DC y se aplica una carga al motor hasta llegar a un valor de 1.55 A en la corriente de armadura. Se obtiene valores de las variables eléctricas del analizador los cuales se encuentran detallados en la tabla

13.

**Tabla 13**

*Magnitudes eléctricas en un conversor controlado AC/DC trifásico conectado a un motor DC con carga a corriente nominal.*

<b>Magnitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>Total</b>
<b>Voltaje (V)</b>	128,7	127,0	130,1	
<b>Corriente (A)</b>	1,3	1,3	1,2	
<b>THD de voltaje (%)</b>	2,0	2,3	2,8	
<b>THD de corriente (%)</b>	28,2	28,5	29,1	
<b>Potencia activa (W)</b>	120	120	120	360
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	100	100	110	310
<b>Potencia aparente (VA)</b>	160	160	160	480
<b>PF</b>				0.74
<b>Frecuencia (Hz)</b>				60,02

En los datos detallados en esta tabla se puede observar que los THD's de voltaje son bajos, los de corriente tienden a elevarse y se observa un factor de potencia de 0.74.

#### **4.2. Análisis de datos.**

Con las diferentes mediciones en los circuitos implementados, se obtuvieron datos muy valiosos para el análisis de la energía eléctrica los mismo que tienen un comportamiento diferente al momento de variar parámetros, variar cargas, así como

también poder observar ante que cargas y circunstancias la red eléctrica se ve más afectada del contenido armónico.

Las lecturas de estos datos nos permiten llegar a varios análisis de la red eléctrica en la que se los midió, por lo tanto, sacar reportes y curvas cada cierto tiempo será de mucha utilidad para tener una idea de que está afectando a la red.

### **4.3. Comprobación de hipótesis.**

Para la comprobación de la hipótesis se estudian los resultados obtenidos en el análisis anterior comprobando así que, al implementar un módulo didáctico para el análisis de la energía se podrá monitorear las magnitudes eléctricas y a la vez visualizarlas en tiempo real para poder realizar el análisis energético del sistema usando equipos que cumplan con las necesidades del proyecto.

#### **4.3.1. Planteamiento de la hipótesis.**

Con el diseño e implementación de un módulo didáctico para el análisis de energía se podrá monitorear las magnitudes eléctricas, y a la vez visualizarlas en tiempo real para poder realizar el análisis de la energía eléctrica, en el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.



**a. Viabilidad del proyecto**

Con los análisis respectivos se determinó que el proyecto es viable, iniciando con el diseño e implementación de un módulo didáctico que monitoree las magnitudes eléctricas en tiempo real para poder realizar el análisis energético del sistema.

## CAPÍTULO V

### PROPUESTA

#### 5.1. Tema de la propuesta

Diseño e implementación de un módulo didáctico para el análisis de la energía eléctrica en el laboratorio de Accionamiento Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga.

#### 5.2 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 Accionamientos Eléctricos.

**Tipo de empresa:** Educación

**Tamaño de la empresa:** Grande

### **5.2.1. Beneficiarios**

Alumnos de la Universidad que hagan uso del laboratorio de Accionamientos Eléctricos para sus prácticas académicas.

## **5.3. Objetivos**

### **5.3.1. Objetivo general**

Diseñar e Implementar un módulo didáctico para el análisis de la energía eléctrica, utilizando un controlador lógico programable y medidores inteligentes de energía, en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga.

### **5.3.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un módulo didáctico que permita realizar mediciones de los parámetros de la energía eléctrica en cada una de las estaciones de trabajo al realizar prácticas de laboratorio con la utilización de variadores de frecuencia y convertidores.
- Implementar un módulo didáctico, mediante un controlador lógico programable que permita adquirir los datos obtenidos por los medidores inteligentes de energía y

realizar las pruebas de funcionamiento implementando un HMI que integre las mediciones de cada una de las estaciones de trabajo.

- Realizar el análisis de la energía eléctrica mediante la base de datos que se genera con la medición de: corrientes, voltajes, potencia factor de potencia y THD.

#### **5.4. Justificación de la propuesta**

Por medio de la implementación del proyecto se conseguirá obtener reportes de las medidas de magnitudes eléctricas como: voltaje, corriente, potencia y THD's de corriente y voltaje, con el fin visualizar cómo se comportan las mismas con la utilización de equipos como: motores, variadores de frecuencia y convertidores de energía en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas, el uso del proyecto colabora con el desarrollo académico de los estudiantes debido a que sus prácticas de laboratorio estarán más actualizadas e inmersas en la tecnología actual.

#### **5.5. Fundamentación de la propuesta**

La propuesta que se presenta en este capítulo está relacionada con el diseño y la implementación de un módulo didáctico para el monitoreo de la energía eléctrica al realizar prácticas académicas en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos. El módulo realizará la medición y adquisición de reportes de datos como: corrientes, voltajes, potencias, factor de potencia, frecuencia y THD's, la medición se realizará por medio de los medidores inteligentes de energía, estos datos serán almacenados y extraídos por

medio de un controlador lógico programable en tiempo real y en un archivo compatible con Microsoft Excel para posteriormente ser analizado.

## 5.6. Diseño de la propuesta

### 5.6.1. Resumen

Seguidamente, se describe el formato a considerar en relación a la propuesta.

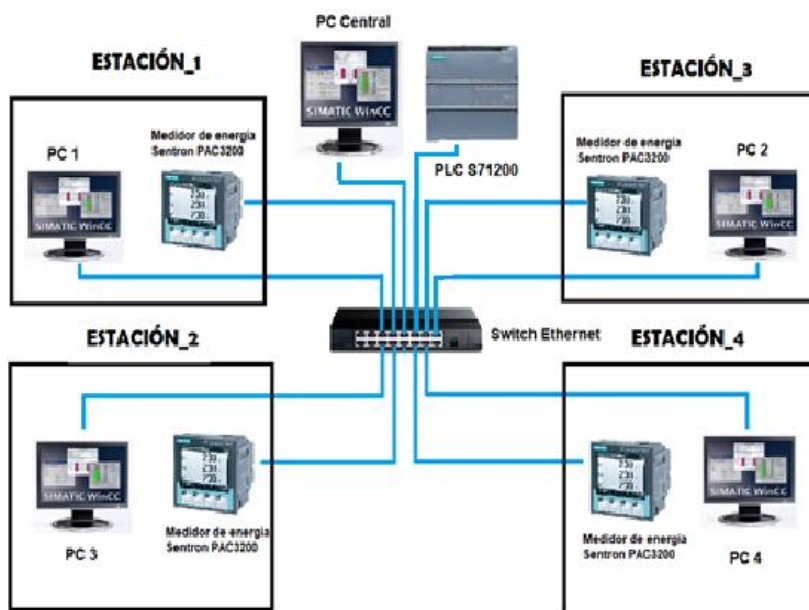
- **Medición de parámetros eléctricos en la alimentación de las estaciones de trabajo:** Para iniciar con la ejecución del diseño es indispensable realizar varios ensayos y obtener mediciones de los parámetros eléctricos como: potencia activa, reactiva y aparente, corriente, voltaje entre líneas, factor de potencia, THD de corriente, THD de voltaje, entre otros, para seleccionar los quipos adecuados para todo el sistema.
- **Selección de equipos:** Una vez que estén claramente detallados los diferentes valores de las variables eléctricas obtenidos en el capítulo anterior, con los resultados obtenidos se puede seleccionar correctamente los equipos considerando que contengan el mismo tipo de comunicación.
- **Obtención de variables eléctricas por medio de medidores inteligentes de energía:** Los datos obtenidos por medio de los medidores inteligentes de energía

se deben corroborar y determinar que sean reales y en caso que sean erróneos realizar los correctivos necesarios.

- **Comunicación de los equipos:** Es necesaria la implementación de una red de comunicación mediante la cual se permita la transmisión de datos hacia un software en una PC para posteriormente procesar la información.
- **Almacenamiento de datos:** Los datos obtenidos de los medidores de energía inteligentes deben ser acondicionados y direccionados de una forma correcta para que el sistema de monitoreo muestre los datos reales que se está presentando en las estaciones de trabajo en ese instante.
- **Resultado:** Los datos obtenidos de los medidores son receptados y almacenados en una base de datos que se crea automáticamente en un PC, luego de que un PLC los lea y transmita los valores de las variables eléctricas.

### 5.6.2. Arquitectura del proyecto

En la figura 26 se muestra el esquema de obtención, procesamiento y visualización de datos obtenidos para en análisis de la energía eléctrica. La configuración para la comunicación entre los equipos es en estrella.



**Figura 26.** Arquitectura del Proyecto

## 5.7. Selección de equipos

Para una correcta selección del equipo se debe tomar en cuenta los rangos de medición de variables tanto de la red como de la carga, tipo de conexión, los protocolos de comunicación que poseen y que estos se acoplen a la necesidad del sistema.

### 5.7.1. Criterios de selección de medidor de energía inteligente para las estaciones de trabajo

Los criterios que se deben tomar en cuenta al momento de seleccionar el medidor de energía inteligente debe ser capaz de medir parámetros relevantes de las redes como: tensiones y corrientes industriales, visualizar parámetros en su pantalla, configuración



manual del equipo, lectura de contenido armónico, protocolo de comunicación similar al controlador.

### a. Especificaciones técnicas de medidores de energía (AC)

En la tabla 14 se muestra la comparación de dos medidores inteligentes de energía.

**Tabla 14**

*Especificaciones de los medidores de energía de corriente alterna.*

EQUIPO	SENTRON PAC-3100	SENTRON PAC-3200
ILUSTRACIÓN		
CORRIENTE MEDICIÓN	1-5A	1-5A
VOLTAJE MEDICIÓN	690V AC MAX	690V AC MAX
THD CORRIENTE		THD-R (U <sub>L-N</sub> )
THD VOLTAJE		THD-R (I <sub>L1-3</sub> )
COMUNICACIÓN	RS485	RS485 MODBUS RTU
E/S DIGITALES	E. DIGITAL S. DIGITAL	E. DIGITAL S. DIGITAL
FRECUANCIA	45-64HZ	45-64HZ
TIPO DE PROTECCIÓN FRONTAL	IP65	IP65
TIPO DE PROTECCIÓN POSTERIOR	IP20	IP20



## Justificación de la elección

La Tabla 15 muestra las principales características que presentan los equipos el medidor Siemens Sentron Pac-3200 es el que mejor se ajusta a las necesidades técnicas ya que tiene incluido un puerto para comunicación compatible respecto a otros equipos y llega a medir la distorsión armónica, ideal para las mediciones de las estaciones de trabajo que tienen cargas lineales y no lineales.

**Tabla 15**

*Características técnicas del medidor de energía Sentron Pac-3200*

<b>SETRON PAC-3200</b>	
<b>ALIMENTACIÓN AC</b>	95 a 240 V AC +-10% / 50/ 60 Hz
<b>ALIMENTACIÓN DC</b>	22 a 65 V DC +-10%
<b>RANGO DE MEDICIÓN DE CORRIENTE</b>	Trifásica 1/5A AC
<b>RANGO DE MEDICIÓN DE VOLTAJE</b>	Trifásica máx. 690/400v, 50/60 Hz
<b>POTENCIA ABSORBIDA</b>	110-340 V DC, 8W
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>	1
<b>SALIDAS DIGITALES</b>	1
<b>COMUNICACIÓN</b>	2 RS485 Modbus RTU
<b>CONFIGURACIÓN</b>	4 teclas de Función o Software
<b>PROTECCIÓN FRONTAL</b>	IP 65
<b>PROTECCIÓN POSTERIOR</b>	IP 20

Los medidores de energía inteligentes hoy en día son muy utilizados en diferentes aplicaciones ya sea en la industria o domésticas, la línea de los medidores de energía Sentron Pac de Siemens son medidores que se acoplan de una manera extraordinaria a cualquier red ya que tiene 5 tipos de conexión los mismos que serán seleccionados de acuerdo a la aplicación, este medidor tiene la capacidad de llegar a medir el contenido armónico total de corriente y voltaje, así como también una amplia gama de medición de parámetros eléctricos.

Para transmitir los datos de medición tiene dos opciones que son muy comunes y usadas en las redes industriales la comunicación RS485, para el medidor se necesita un módulo externo y para la comunicación Modbus TCP el medidor trae un puerto RJ45. Para mayor información del medidor de energía Sentron Pac-3200 revisar el Anexo A.

#### **b. Implementación del medidor de energía Sentron Pac-3200**

El montaje del medidor de energía Sentron Pac-3200 se realizará en un módulo de 240 mm x 297 mm (Ver Anexo B), el mismo que estará montado en cada estación. Su alimentación suministrará la misma regleta presente en la mesa a 220 V AC, las señales de voltaje serán tomadas de la salida trifásica de cada estación, las corrientes se medirán a través de transformadores de corriente (TC's) cuyo valor en el secundario no sea mayor a 5A. Para su funcionamiento el medidor debe estar dentro del nivel de voltaje y corriente, configurar la dirección IP, entre otras. En la figura 27 se muestra un medidor Sentron Pac-3200.



**Figura 27.** Medidor inteligente de energía Sentron Pac-3200

Fuente: (Siemens, Power Monitoring Device Manual, 2008)

### **5.7.2 Criterios de selección del controlador lógico programable para el sistema.**

Para el sistema es necesario contar con un controlador lógico programable que permita la comunicación con los cuatro medidores de energía seleccionados en el apartado anterior mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP.

#### **a. Especificaciones técnicas de los controladores lógicos programables**

En la tabla 16 se detalla las características técnicas de dos opciones de PLC S7-1200 de la marca Siemens

Tabla 16

Controladores industriales (PLC)

EQUIPO	SIEMENS S7-1200 1212C AC/DC/RLY	SIEMENS S7-1200 1214C AC/DC/RLY
		
ALIMENTACIÓN	120 V AC	120 V AC
MEMORIA DE TRABAJO	75 KB	100KB
MEMORIA DE CARGA	1MB	4MB
MEMORIA REMANENTE	10KB	10KB
ENTRADAS DIGITALES	8	14
SALIDAS DIGITALES	6	10
COMUNICACIÓN	Ethernet	Ethernet
MODULOS DE COMUNICACIÓN	RS 232/485 MODBUS TCP	RS 232/485 TCP
		MODBUS

## Justificación de la elección

El controlador se considera un dispositivo capaz de realizar la comunicación con 4 Medidores de energía Sentron Pac\_3200 mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP, que tenga una versión de Firmware superior a 4.2, la alimentación sea por corriente alterna, que presente una buena capacidad en sus memorias de trabajo y carga debido a que se requiere programar 5 PC\_System HMI. En la Tabla 17 se muestran las características técnicas del PLC S7-1200 1214C AC/DC/Rly. Para mayor detalle ver Anexo C.

**Tabla 17**

*Características técnicas del PLC S7-1200 1214AC/DC/Rly*

<b>PLC S7-1200 1214AC/DC/Rly</b>	
<b>Versión de Firmware</b>	4.2
<b>Tensión de alimentación</b>	120 -230 V AC
<b>Memoria de trabajo</b>	100 kbyte
<b>Memoria de carga</b>	4 Mbyte
<b>Entradas digitales</b>	14
<b>Salidas digitales</b>	10, Relé
<b>Interfaz</b>	Profinet, Ethernet
<b>Entradas analógicas</b>	2

## **b. Implementación del Controlador Lógico Programable PLC S7-1200**

El controlador lógico programable es implementado en un tablero de 240mmx297mm el cual estará montado en una de las mesas de trabajo, será alimentado a una tensión de 220V y su puerto de comunicación conectado a un Switch Ethernet.

### **5.7.3. Criterios de selección de Switch para la comunicación Ethernet**

Al momento de seleccionar el Switch para la comunicación Modbus TCP es necesario saber el número de bits por segundo que transmiten, también el número de puertos que deben ser los suficientes para tener todos los dispositivos conectados en la misma red. El equipo seleccionado no requiere de protección ante polvo y agua ya que no es un ambiente industrial.

#### **a. Especificaciones técnicas de switch**

En la tabla 18 se muestran las características técnicas de dos tipos de switch Ethernet.

Tabla 18

*Características del Switch Ethernet*

EQUIPO	TP LINK TI-sg1016d	PHOENIX FL SWITCH SFNT 16TX - 2891952
Ilustración		
Alimentación	100-240 VAC 50/60 Hz	12-48 VDC
Capacidad de transmisión	10/100/MBits/s	10/100/MBits/s
Distancia máxima del conductor	100 m	100 m
Grado de protección	No especificado	IP 20
Temperatura de operación	0 a 40 C <sup>0</sup>	-40 a 75 C <sup>0</sup>
Categoría de conductores para la comunicación	CAT III, IV, V	CAT V

**Justificación de la elección**

Para la elección del dispositivo se ha tomado en cuenta la tabla anterior, la cual describe las características técnicas de los dos tipos de Switch Ethernet, el Switch Ethernet TP LINK TI-sg1016d es el que se ajusta a las necesidades ya que es un

dispositivo con la tecnología Plug and Play, no necesita ser robusto mecánicamente porque su montaje no es en un ambiente hostil.

El Switch Ethernet TP link puede ser utilizado en aplicaciones en las que se quiera formar una red cerrada de trabajo, intercambio de datos a una velocidad de 100 MBIT/S puede ser alimentado con una tensión de 110/220 VAC; presenta 16 puertos Rj45. En la figura 28 se muestra un Switch Ethernet. Para más información del Switch dirigirse al Anexo D.



**Figura 28.** Switch Ethernet TP LINK  
Fuente: (TEGNOLOGIES, 2016)

#### **5.7.4. Criterios de selección del conector Ethernet**

En la selección del puerto de comunicación para las centrales de medida se debe tomar en consideración la robustez, el tamaño y apariencia de acuerdo a la necesidad del sistema.



### a. Especificaciones técnicas del puerto de comunicación

La tabla 19 muestra las características técnicas de un puerto de comunicación Rj45 de la marca Siemens.

**Tabla 19**

*Características técnicas del puerto RJ45 Siemens*

<b>EQUIPO</b>	<b>RJ454 SIEMENS</b>
<b>Diámetro del módulo</b>	22 mm
<b>Protección</b>	IP65
<b>Temperatura durante la operación</b>	-25+70°C
<b>Temperatura durante el almacenamiento</b>	-40+80°C
<b>Categoría del cable de conexión</b>	CAT6

### Justificación de la elección

El puerto Rj45 de siemens presenta las características mecánicas necesarias para esta aplicación, así como también el tamaño es el adecuado para poder manipularlo sin ningún problema. Este puerto presenta una tapa de caucho para la parte frontal protegiéndolo cuando no se encuentre operativo. La figura 29 muestra un módulo RJ45 de siemens. En el Anexo E se detalla mayor información del puerto Rj45.



**Figura 29.** Puerto de comunicación RJ45

Fuente: (Siemens, 2019)

### **b. Implementación del puerto de comunicación RJ45 de siemens**

El puerto de comunicación RJ45 de Siemens estará montado en la parte izquierda del módulo donde se encuentra el Sentron Pac-3200, este ayudará a establecer la conexión TCP desde los medidores al controlador. Este puerto también estará montado en el módulo del controlador lógico programable para enviar y recibir la información, siendo el principal medio de intercambio de datos de todo el sistema.

#### **5.7.5. Criterios de selección del material para tableros de control**

Para la elaboración del tablero de control es necesario seleccionar un material que contenga propiedades mecánicas y eléctricas, debido a que se requiere una alta resistencia y buena tolerancia al desgaste y que a su vez sea de fácil mecanizado, encontrando como opción el Vulcatex.

### a. Especificaciones técnicas del material.

En la tabla 20 se encuentran las especificaciones técnicas de las propiedades que presenta el Vulcatex.

**Tabla 20**

*Especificaciones técnicas del Vulcatex.*

<b>PROPIEDADES NORMA IEC 893</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad</b>	g/cm <sup>2</sup>	Aprox. 1,4
<b>Flexión a 23oC / 150oC / 180oC</b>	MPa	130
<b>Módulo de elasticidad de flexión</b>	MPa	Aprox.7000
<b>Resistencia al impacto</b>	KJ/m <sup>2</sup>	>8,8
<b>Resistencia a la tracción</b>	MPa	80
<b>Fuerza eléctrica a 90oC en aceite perpendicular a laminaciones</b>	KV/mm	>2,7
<b>Desglose de tensión a 90oC en paralelo al petróleo laminaciones</b>	KV	5
<b>Resistencia de aislamiento después de inmersión en agua</b>	Ohm	>10 <sup>6</sup>
<b>Seguimiento corporativo de índice</b>	-	CTI 100
<b>Resistencia térmica</b>	T.I.	120
<b>La absorción de agua</b>	mg	100

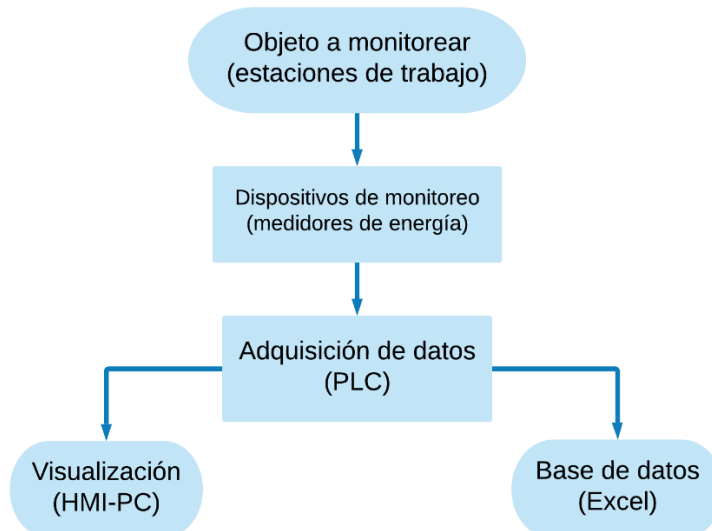
## **Justificación de la elección**

El Vulcatex en plancha conocido también como Celerón presenta una serie de características mecánicas y eléctricas, que lo hace el material idóneo para el tipo de aplicación que se requiere. Se selecciona el Vulcatex de 3/16" de grosor, del mismo espesor de los módulos existentes en el laboratorio.

## **5.8. Metodología para la realización de la propuesta del proyecto**

### **5.8.1. Diseño del módulo para el análisis de energía**

Para el diseño se inicia con la selección de los medidores de energía encargados de obtener los valores de las magnitudes eléctricas de cada una de las estaciones de trabajo ubicadas en el laboratorio, para que el PLC las lea y permita el acceso a los mismos por medio de una base de datos que se guarda en un computador, todo esto basado en el proceso que se muestra en la figura 30.



**Figura 30.** Diagrama de flujo del módulo para el análisis de energía

**Objeto a monitorear:** son las estaciones de trabajo ya que de ellas se va extraer los datos de magnitudes eléctricas, que posteriormente se desean analizar.

**Dispositivos de monitoreo:** son los elementos encargados de medir y permitir la visualización de las magnitudes eléctricas presentes en cada una de las centrales de medida.

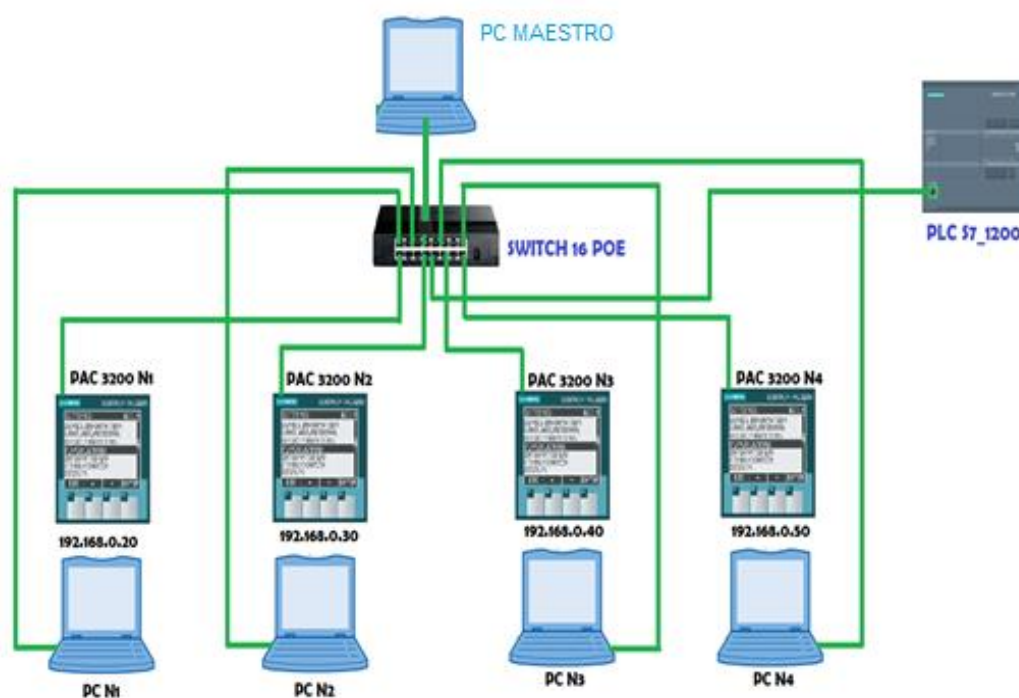
**Adquisición de datos:** en donde se obtienen los valores medidos por los dispositivos de monitoreo para ser almacenados

**Visualización:** permite al usuario tener acceso a los datos que se están midiendo desde una PC.

**Base de datos:** todos los datos medidos se van archivando en intervalos de tiempo predeterminados y pueden ser obtenidos en un formato .csv compatible con Excel.

### 5.8.2. Esquema de conexión de los elementos

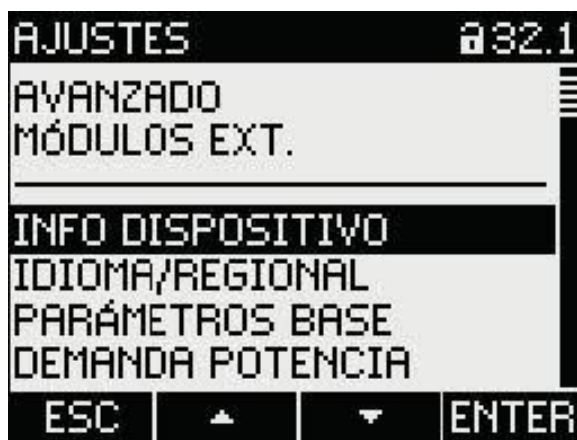
La figura 31 presenta el sistema de conexión de los diferentes elementos necesarios para implementar los módulos para el monitoreo de la energía eléctrica. En el Anexo F se encuentra el conexionado completo del sistema con sus instrumentos.



**Figura 31.** Esquema de conexión

### 5.8.3. Configuración del medidor de energía SENTRON PAC\_3200

El medidor de energía SENTRON PAC-3200 gracias a la pantalla iluminada que posee, la cual se muestra en la figura 32, hace posible una fácil interacción entre el equipo y el usuario permitiendo a este seleccionar el idioma que requiera y los parámetros necesarios para su correcto funcionamiento.



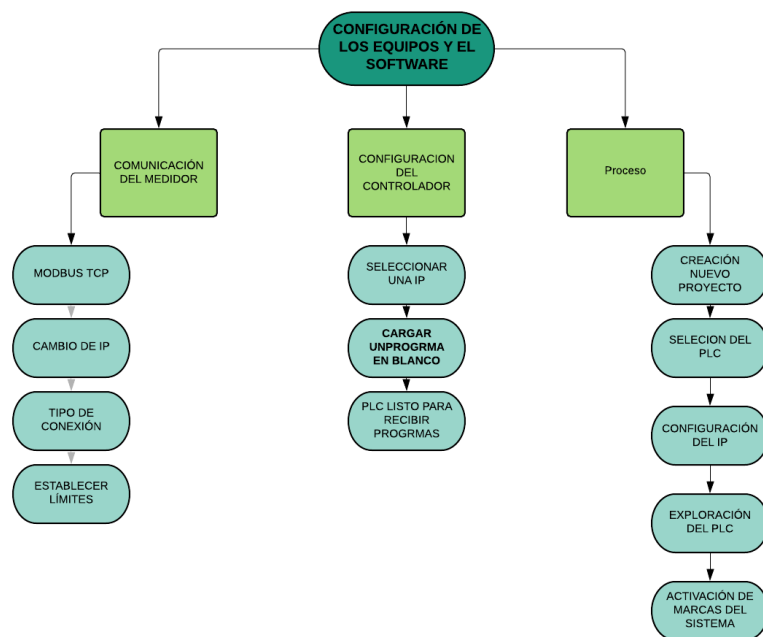
*Figura 32.* Pantalla de configuración  
SETRON PAC-3200  
FUENTE: (SIEMENS, 2010)

- **Ajustar el idioma:** El equipo permite ajustar el idioma de acuerdo a las necesidades del usuario.
- **Aplicar la tensión de alimentación:** El Sentron PAC-3200 posee una fuente de alimentación multirango en corriente alterna y corriente continua, esto permite que sea alimentado con 220V.

- **Parametrizar el dispositivo:** Permite seleccionar el tipo de conexión, en este caso 3P3W, trifásico a tres hilos, además el valor de entrada máxima de tensión y las corrientes del primario y secundario de los transformadores de corriente.
- **Ajustes de comunicación IP:** Permite la comunicación entre el medidor y el controlador lógico programable.

### 5.9. Configuración de los equipos que conforman el sistema de monitoreo en el software TIA PORTAL V14

Para la configuración de los equipos se debe seguir un orden dentro del software como se muestra en la figura 33, para que sus ventanas vayan enlazándose hasta que cumplan con el fin deseado. En el anexo G se detallan todas las pantallas para su configuración.

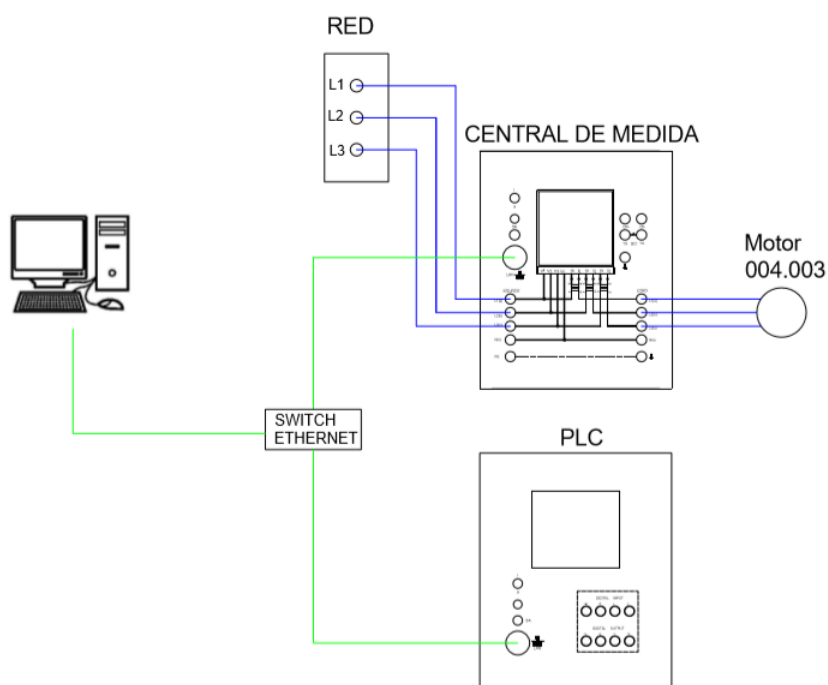


**Figura 33.** Esquema de configuración de equipos y del software



### 5.9.1. Comunicación del medidor de energía con el controlador

Para realizar el intercambio de datos del medidor al controlador es necesario conectar a los dos equipos por medio de la comunicación Modbus TCP como se muestra en la figura 34, para que transmitan la información de las variables eléctricas que se está midiendo en cada estación de trabajo.

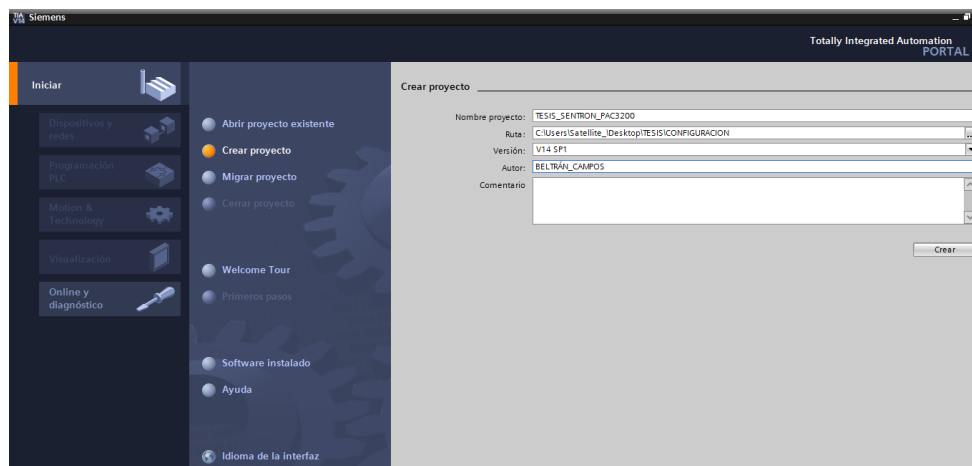


**Figura 34.** Conexión por medio de Modbus TCP.

### 5.9.2. Configuración del PLC para la adquisición de las variables eléctricas del sistema

Para la configuración del PLC se inicia creando un proyecto nuevo en el Software de Siemens Tia Portal V14, es importante abrir un archivo nuevo de proyecto al cual se le

añade una dirección para que se guarde y un nombre para poder identificarlo como se observa en la figura 35.



**Figura 35.** Creación de un proyecto nuevo

Ingresamos a la pestaña agregar dispositivos y redes, para seleccionar el PLC es necesario tomar en cuenta que coincida con las características de un PLC en físico, en este caso usaremos un PLC S7-1200 sin especificar, versión 4.2 como se observa en la figura 36.

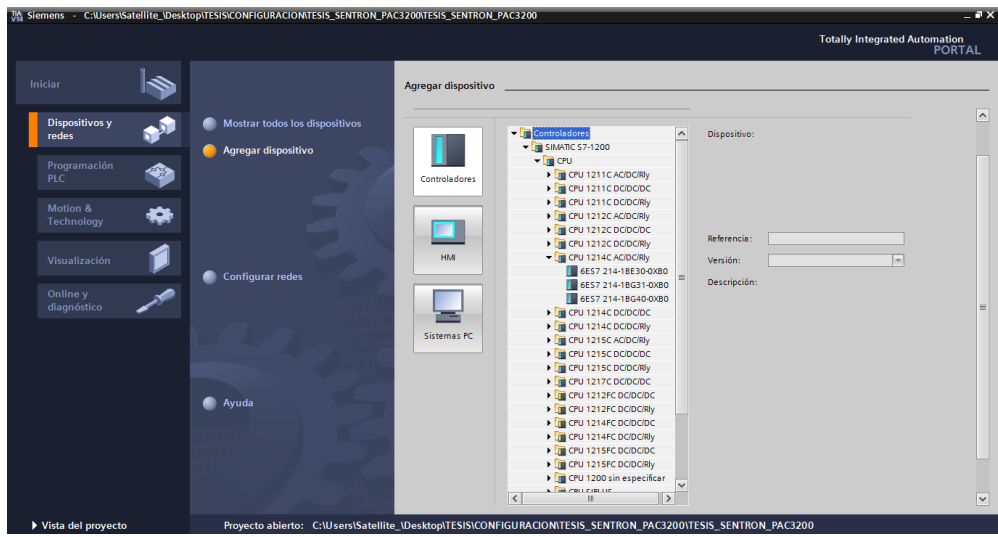


Figura 36. Selección del PLC

En la figura 37 se observa el PLC que se encuentra en línea, y se observa un PLC 1214 AC/DC/Relay con una dirección IP 192.168.0.24 el mismo que será usado para implementar el sistema.

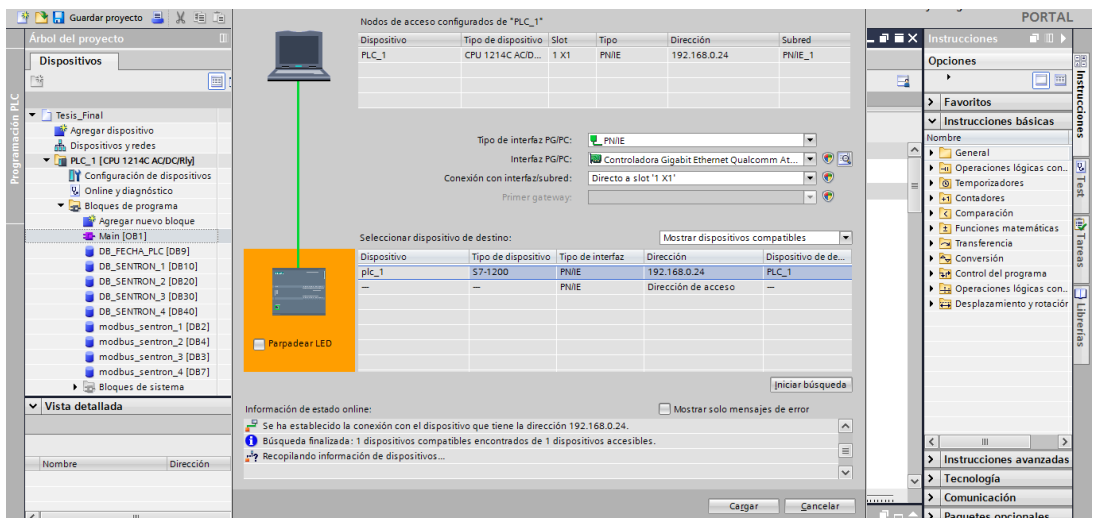
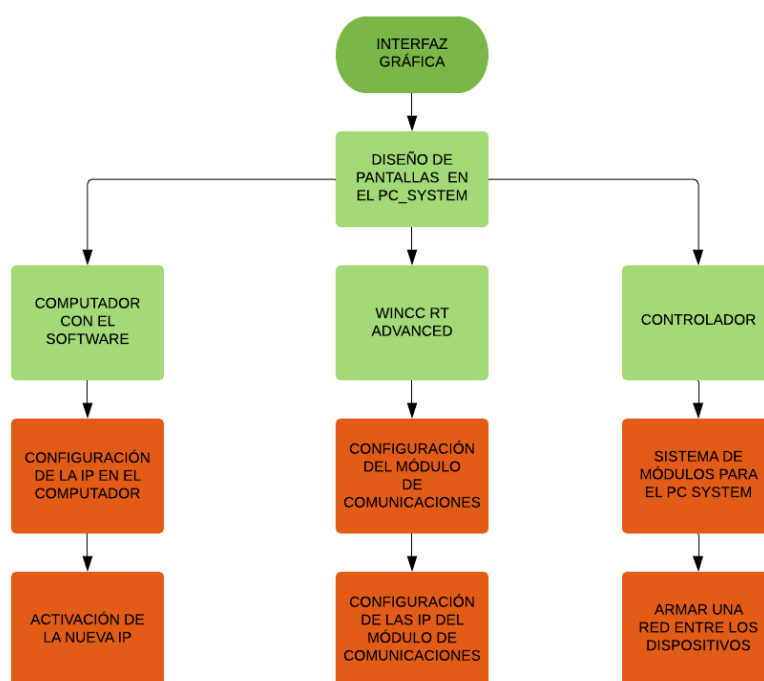


Figura 37. Exploración del PLC

## 5.10. Diseño y configuración de la interfaz gráfica del sistema

En la figura 38 se observa un diagrama de la secuencia para el diseño y configuración de la interfaz gráfica. En el Anexo H se detallan todas las pantallas para su diseño y configuración.

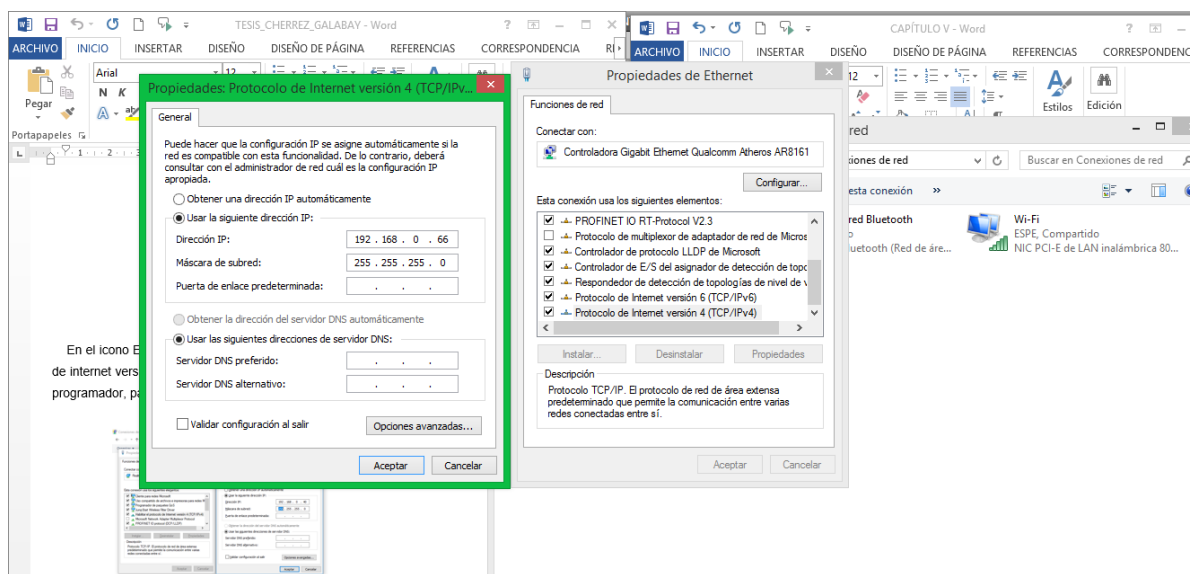


**Figura 38.** Esquema de configuración de la interfaz gráfica

### 5.10.1. Diseño de las pantallas en el Pc\_System

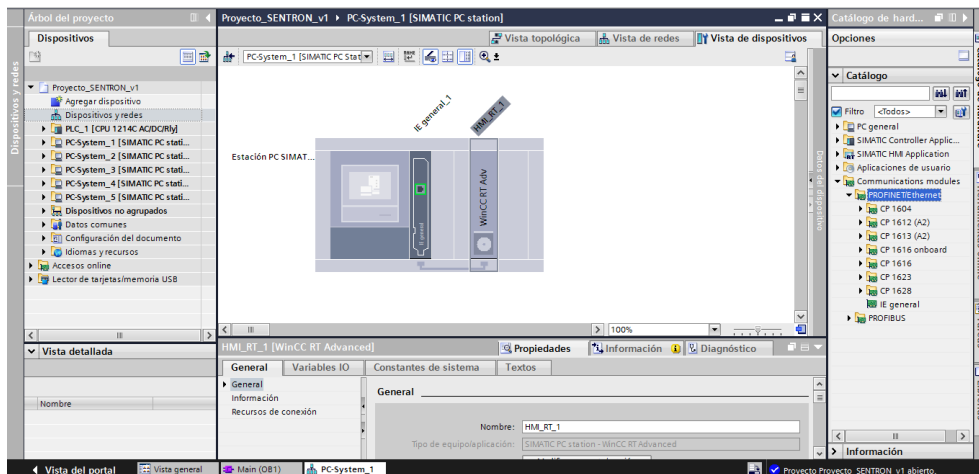
Como primer punto se configura la IP de la computadora, para que no coincida con las del controlador o con la dirección de un medidor inteligente de energía, para lo cual ingresamos al panel de control de la PC en la opción redes de internet y conexiones. En

el ícono de Ethernet dar clic derecho y dirigirse a propiedades, en el protocolo: Internet versión 4 (TCP/IPv4), en propiedades ingresar la IP de la PC que el usuario requiera, mostrado en la figura 39.



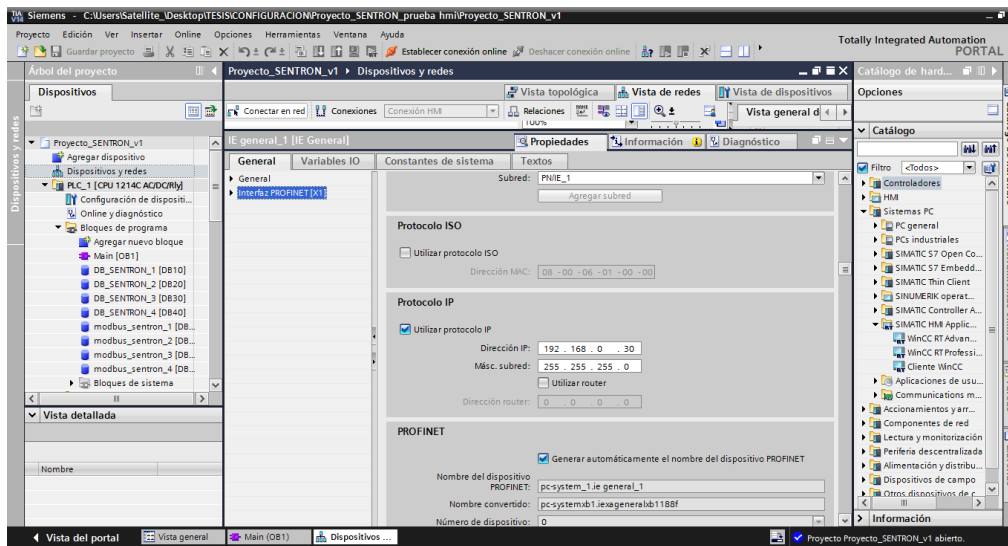
**Figura 39.** Activación de la nueva IP

Para configurar el WINCC RT ADVANCED, ingresamos un dispositivo nuevo, en el ícono de controles dirigirse a SIMATIC HMI APLICACION y seleccionamos WINCC RT ADVANCED. Para que el PLC se comunique con la PC es necesario añadir un módulo Ethernet en la parte del WINCC RT ADVANCED el mismo que se encuentra en la pestaña de comunicaciones, seleccionamos PROFICIENT/ETHERNET, finalmente en IE general quedando añadido el módulo, como lo muestra la figura 40.



**Figura 40.** Configuración del módulo de comunicaciones

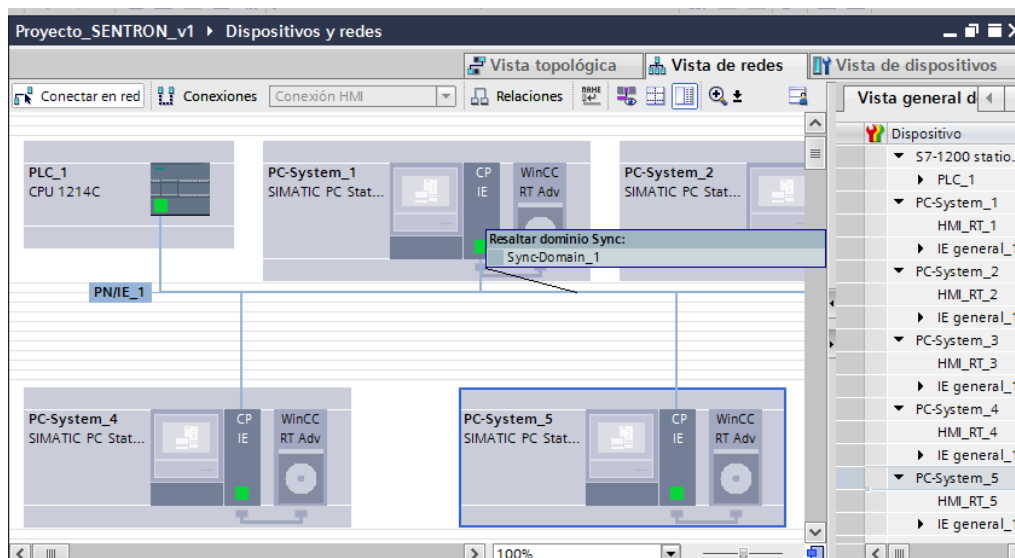
Para poder comunicarse se debe ingresar la IP del módulo que se configura en el icono Direcciones Ethernet, como se muestra en la figura 41.



**Figura 41.** Configuración IP de los módulos de comunicación

Para la aplicación se necesita cinco PC System por lo que se requiere del mismo número de módulos, los mismo que tienen direcciones IP diferentes, esto hará que las

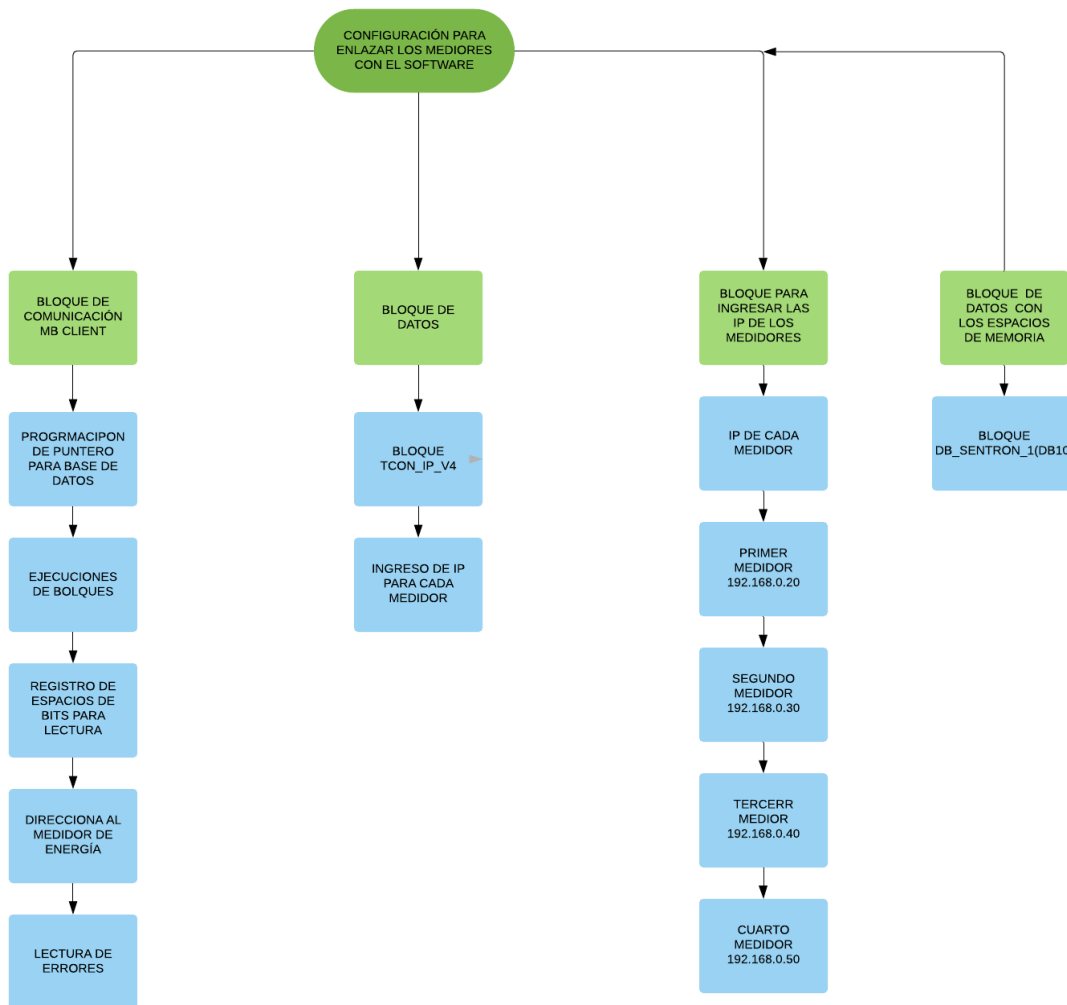
pantallas puedan direccionar al PLC sin la necesidad que todas vean la misma Interfaz. En este paso se unen los diferentes equipos al controlador, enlazando punto a punto la conexión Ethernet como se muestra en la figura 42 y está listo para que el PLC se comunique con los módulos de comunicación.



**Figura 42.** Unión de Red entre los dispositivos.

### 5.11. Configuración de los equipos para comunicar los medidores con el sistema

En la figura 43 se muestra la secuencia para la configuración de los equipos que conforman el sistema de monitoreo. En el Anexo I se detalla la configuración de la comunicación de los medidores con el sistema.

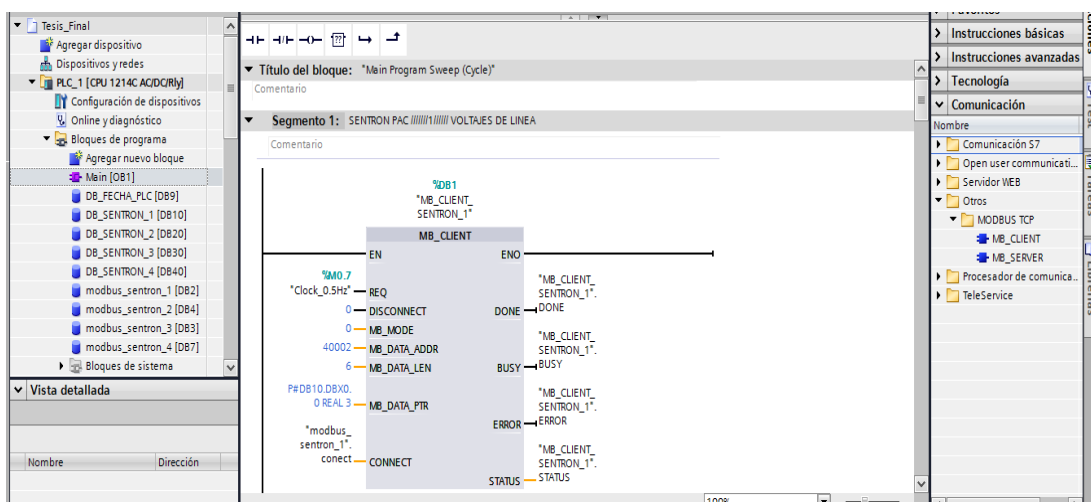


**Figura 43.** Configuración para lectura de equipos en el sistema

### 5.11.1. Programación para obtener datos de los medidores de energía

Para iniciar con la programación se utiliza un bloque MB\_CLIENT ubicado dentro de la pestaña de comunicación en el ícono MODBUS\_TCP y se configura los parámetros dentro del mismo, como se muestra en la figura 44. Configurar a los mismos como se muestra en la tabla 21.





**Figura 44.** Bloque de comunicación MB\_CLIENT

En las señales eléctricas restantes se utiliza la misma base de datos, pero con distintos espacios de memoria. Para ver la configuración completa dirigirse al Anexo J.

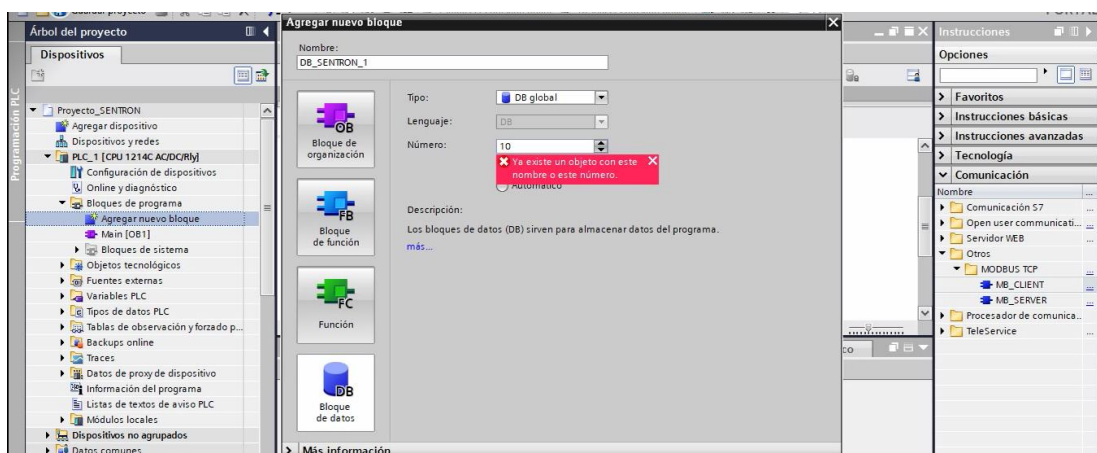
**Tabla 21**

Parámetros de configuración MB\_CLIENT

Parámetro	Descripción	Configuración Utilizada
REQ	Ejecución del Bloque	"Clock_0.5Hz"
DISCONNECT	Opción: Conectado=0 Desconectado=1	0
MB_MODE	Información de leer o escribir	0
MB_DATA_LEN	Offset de cada variable eléctrica	40002

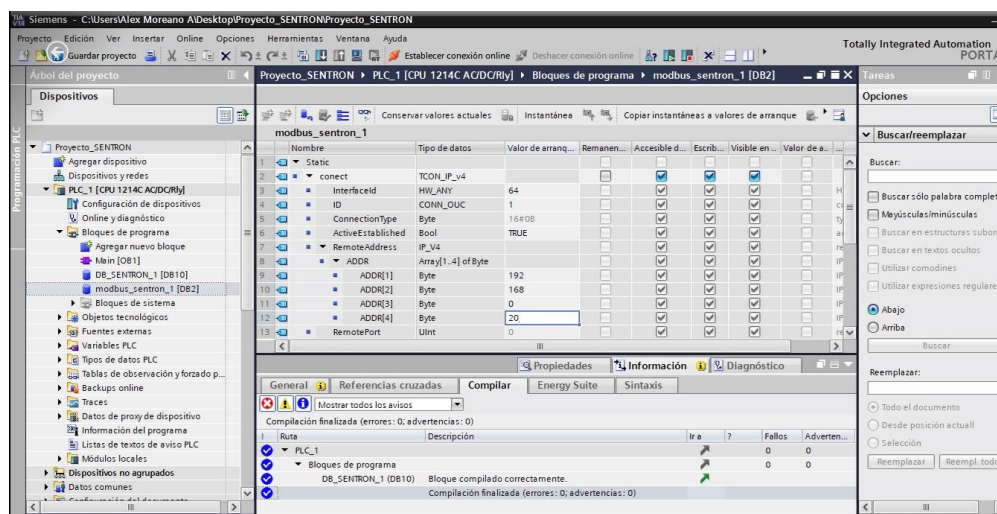
<b>MB_DATA_LEN</b>	Espacios de bits a 6 usar para la lectura
<b>MB_DATAPTR</b>	Puntero a la base de P#DB10.DBX0.0 REAL 3 datos con el offset que presenta su dirección para la lectura de datos
<b>CONNECT</b>	Direcciona al "modbus_sen tron_1".conect medidor de energía
<b>DONE</b>	Conexión del "MB_CLIENT_SENTRON_1".DONE medidor de energía realizado
<b>BUSY</b>	Conexión del "MB_CLIENT_SENTRON_1".BUSY medidor de energía trabajando
<b>ERROR</b>	Conexión con el "MB_CLIENT_SENTRON_1".ERROR medidor de energía interrumpida, o con falla de IP
<b>STATUS</b>	Conexión con el "MB_CLIENT_SENTRON_1".STATUS medidor y su rango

Luego se procede a la configuración del bloque de datos DB que para el sistema lo llamaremos MODBUS\_SENTRON\_1 [DB2] ubicado dentro de la configuración del PLC en la pestaña Bloques de programa, agregar un nuevo bloque en el ícono DB Bloque de datos. Como se observa en la figura 45.



**Figura 45.** Bloque de datos

Dentro del bloque mencionado anteriormente es necesario configurar un nuevo bloque para direccionar las IP de los medidores de energía denominado TCON\_IP\_v4, permitiendo que se despliegue espacios para ingresar las IP de los medidores. Como se observa en la figura 46.



**Figura 46.** Bloque para ingresar las IP de los medidores

La tabla 22 muestra las direcciones IP empleadas en cada medidor de energía para el sistema.

**Tabla 22**

*Direcciones IP de los medidores de energía y el controlador*

<b>MEDIDOR DE ENERGÍA</b>	<b>DIRECCIÓN IP</b>
<b>SENTRON PAC 1</b>	192.168.0.20
<b>SENTRON PAC 2</b>	192.168.0.30
<b>SENTRON PAC 3</b>	192.168.0.40
<b>SENTRON PAC 4</b>	192.168.0.50
<b>PLC</b>	192.168.0.24

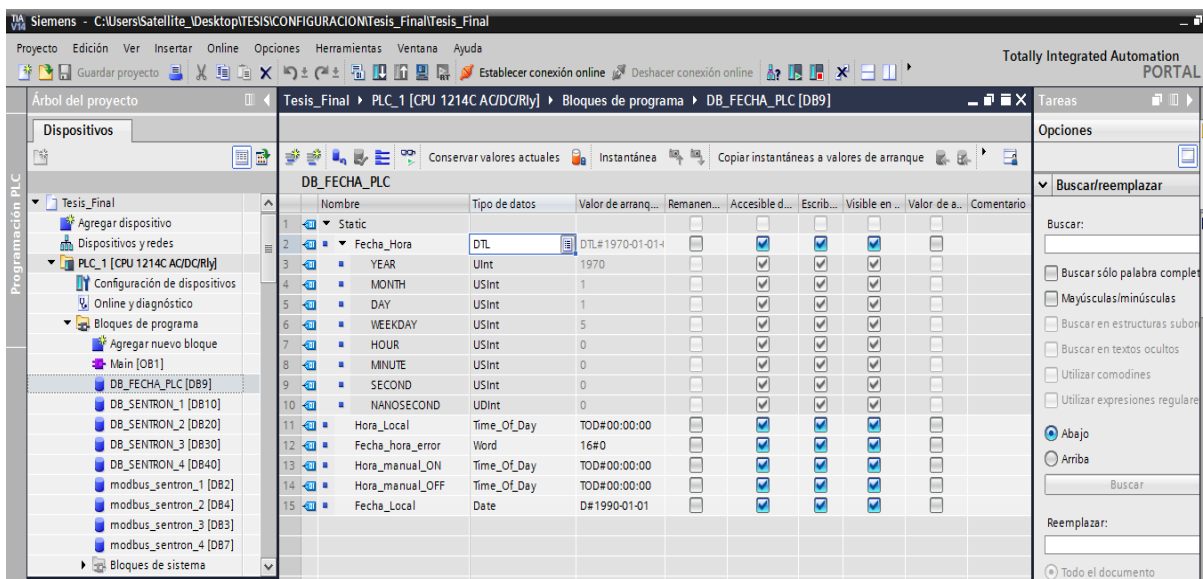
Se procede a ingresar un nuevo bloque de datos llamado DB\_SENTRON\_1 [DB10] que nos permite obtener un arreglo para direccionar las señales de las variables eléctricas y a su vez obtener los valores de arranque que son los datos reales que en ese momento el sistema está obteniendo. Como se muestra en la figura 47.

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ...	Valor de ...
Static								
SENTRON_1	Array(1..50) of Real	0.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_1[1]	Real	0.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_2[2]	Real	4.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_3[3]	Real	8.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_4[4]	Real	12.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_5[5]	Real	16.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_6[6]	Real	20.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_7[7]	Real	24.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_8[8]	Real	28.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_9[9]	Real	32.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_10[10]	Real	36.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_11[11]	Real	40.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_12[12]	Real	44.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_13[13]	Real	48.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_14[14]	Real	52.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_15[15]	Real	56.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_16[16]	Real	60.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_17[17]	Real	64.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_18[18]	Real	68.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_19[19]	Real	72.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_20[20]	Real	76.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_21[21]	Real	80.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SENTRON_1_22[22]	Real	84.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

**Figura 47.** Bloque de datos con los espacios de memoria para las variables eléctricas

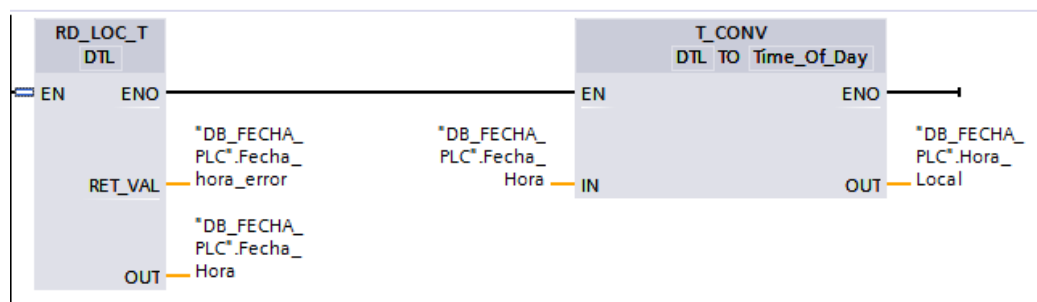
## 5.12. Programación de la hora para obtener reportes.

Para obtener los datos con la hora en el que el sistema se encuentre operando es necesario crear una nueva base de datos llamada DB\_FECHA\_PLC [DB9] y dentro de esta ingresamos a la pestaña DTL que permite ingresar valores de tiempo como es año, meses, semanas, días, horas, minutos, segundos y nanosegundos. Como se muestra en la figura 48.



**Figura 48.** Base de datos para hora del PLC

Luego de tener una base de datos para la hora, es necesario realizar una programación para convertir la fecha\_hora del PLC a una fecha\_hora\_local que se actualiza automáticamente realizando una sincronización con el huso horario en el que se encuentra el dispositivo, y de esta manera la base de datos tenga la hora y fecha correctas. Como se muestra en la figura 49.

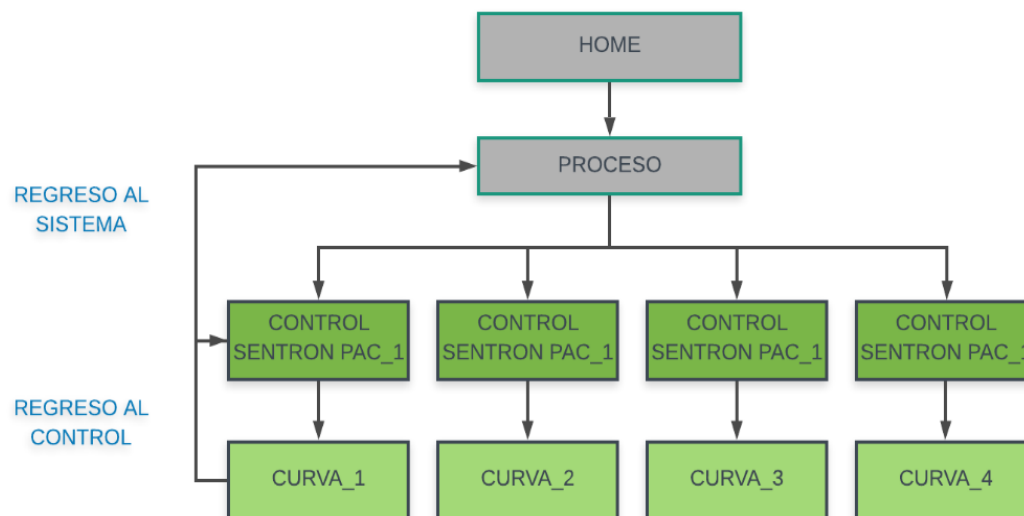


**Figura 49.** Configuración de fecha\_hora

## 5.13. Creación del sistema de monitoreo gráfico

### 5.13.1. Rango de las pantallas HMI Pc System

En la figura 50 se muestra el rango de pantallas por orden de prioridad y que forman parte del HMI\_PC\_System repartidas de la siguiente forma: mando central 14 ventanas, el control de las cuatro estaciones cuenta con 5 ventanas cada una.



**Figura 50.** Rango de pantallas en el HMI

En la tabla 23 muestra las características de cada imagen en el orden de jerarquía, dando a conocer al usuario sus cuatro niveles de ventanas de: monitoreo, control, curvas y reportes.

**Tabla 23***Características de las ventanas del HMI*

<b>VENTANA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>NIVEL</b>
<b>A_HOME</b>	Muestra el inicio del programa con el tema del trabajo de titulación con sus integrantes	1
<b>B_PROCESO</b>	Muestra rápidamente el proceso en general del sistema	2
<b>C_D_E_F_SENTRON</b>	Muestra todas las señales de las variables eléctricas, dependiendo de las estaciones de trabajo que se encuentre.	3
<b>G_H_I_J_CURVAS</b>	Muestra las curvas de Potencia y voltaje	4
<b>GG_HH_II_JJ_CURVAS</b>	Muestra las curvas de THD_R y corrientes	4

### 5.13.2. Programación del HMI Pc System

Para esta programación se utilizará una computadora denominada PC-Maestro, que será la encargada de monitorear el sistema en conjunto con un HMI general y se crearán 4 HMI's monitoreados por PC'S conectados a las estaciones de trabajo.



### 5.13.3. Diseño de los controles para las imágenes

Las diferentes ventanas muestran controles que ayudan a la visualización de curvas y variables eléctricas en función de su programación, permitiendo al usuario tener el control de las mismas.

### 5.13.4. Programación de curvas de potencias y de voltajes en las líneas

Las diferentes curvas de variables eléctricas forman parte del monitoreo, graficando datos en tiempo real, a medida que las variables programadas vayan obteniendo los valores a lo largo del proceso. En la figura 51 se muestra la configuración de las variables para que aparezcan de forma gráfica en las ventanas. Para visualizar las pantallas del sistema revisar el Anexo K.

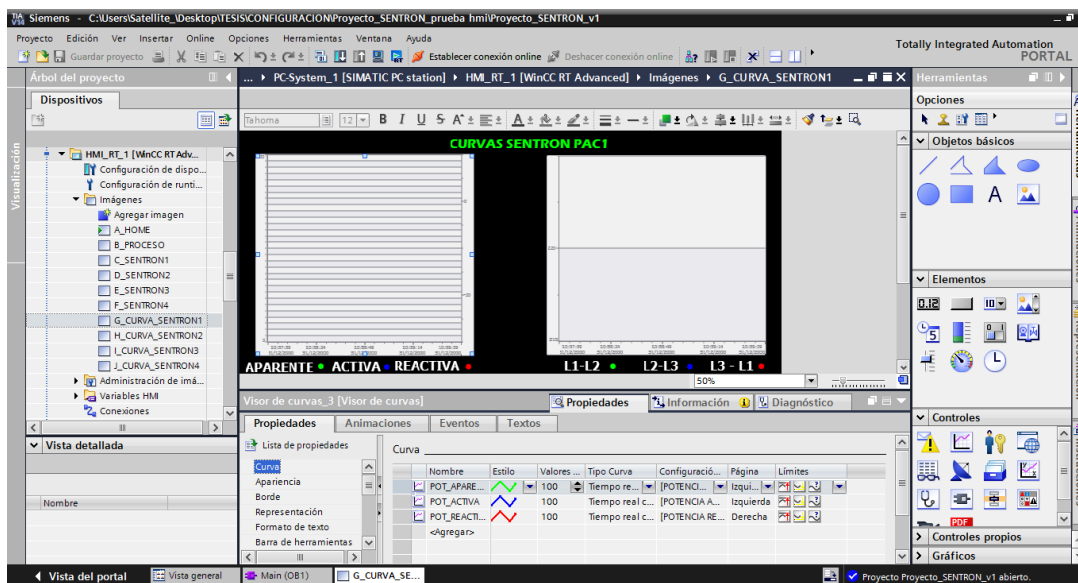


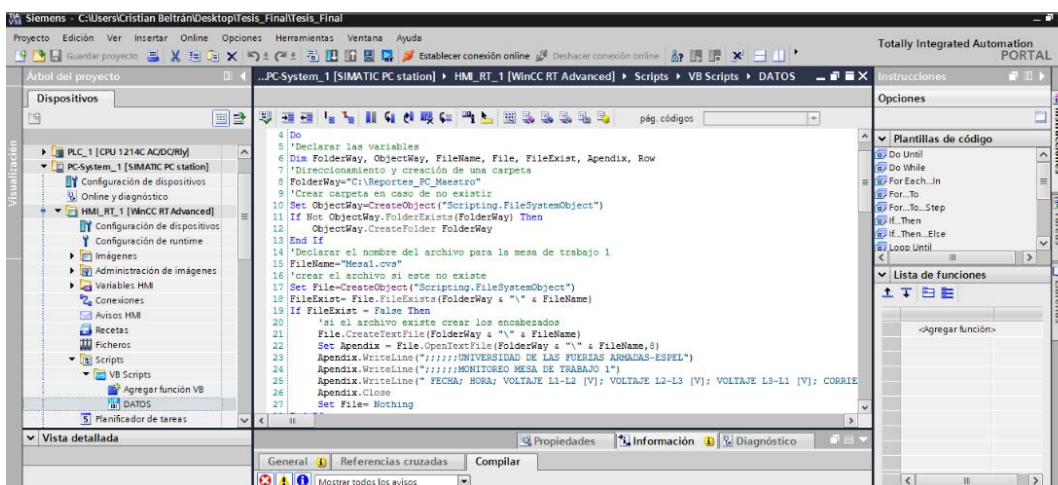
Figura 51. Configuración de curvas

### **5.13.5. Creación de la programación para la base de datos en formato .csv**

Para realizar el análisis de energía es necesario tener reportes de mediciones de variables eléctricas, por lo que se debe crear una base de datos que será la encargada de almacenar todos los valores necesarios para luego ser procesados de acuerdo a las necesidades del usuario. Al crear la base de datos en formato .csv tenemos compatibilidad con Office Excel.

### **5.13.6. Diseño de la base de datos usando un Scrip**

Los datos monitoreados en los HMI's deben ser almacenados de forma que permitan accesibilidad al usuario para que pueda realizar un análisis, se crea una función VB disponible en la pestaña Script dentro de las opciones Pc-System ubicadas en el árbol del proyecto. La función VB permite tener acceso a una pestaña de programación donde direcciona la ubicación de la carpeta y el archivo a almacenar, personaliza el encabezado del archivo y extrae las variables del HMI para almacenarlas como se muestra en la figura 52. Para ver la programación revisar el Anexo L.



**Figura 52.** Código de programación en la función VB para obtener la base de datos

## 5.14. Pruebas y análisis de resultados

### 5.14.1. Prueba de funcionamiento del sistema con los medidores inteligentes de energía.

Las primeras pruebas del sistema que se realizaron fueron las de verificar la conexión a utilizar dentro de los medidores, así mismo la configuración de los TC's en los medidores inteligentes quedando la configuración 5A para el primario y 5A para el secundario.

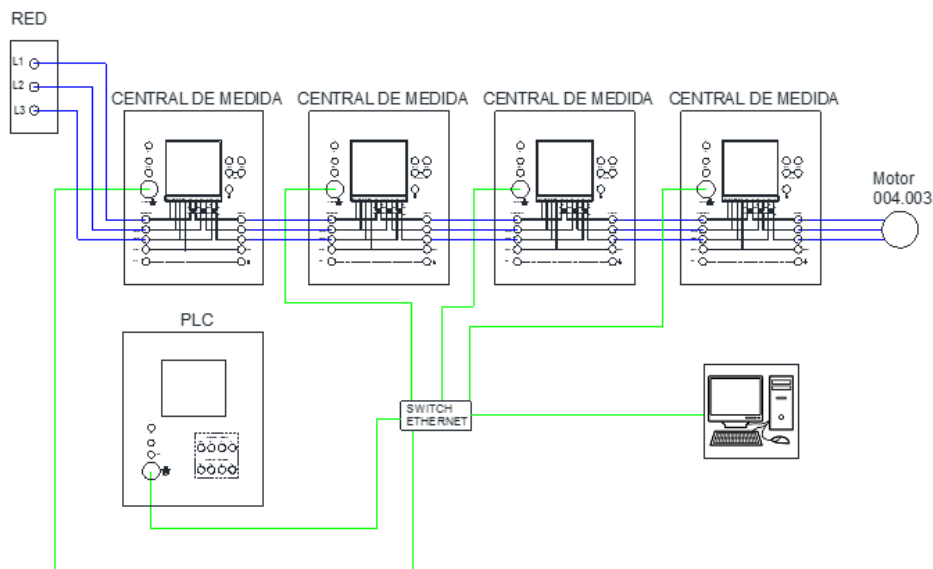
Estos medidores de energía tienen salidas y entradas digitales que pueden ser configuradas desde la interfaz gráfica propia del medidor como se muestra en la figura 53, tiene la capacidad de ingresar 5 límites que de acuerdo la necesidad puede ser elegidos y si sobrepasa alguno de esos límites el contacto 13 y 14 que se encuentra en

el módulo se cierra para dar un uso específico como: activar alarmas sonoras, visuales, desconectar suministros, desconectar cargas, etc.



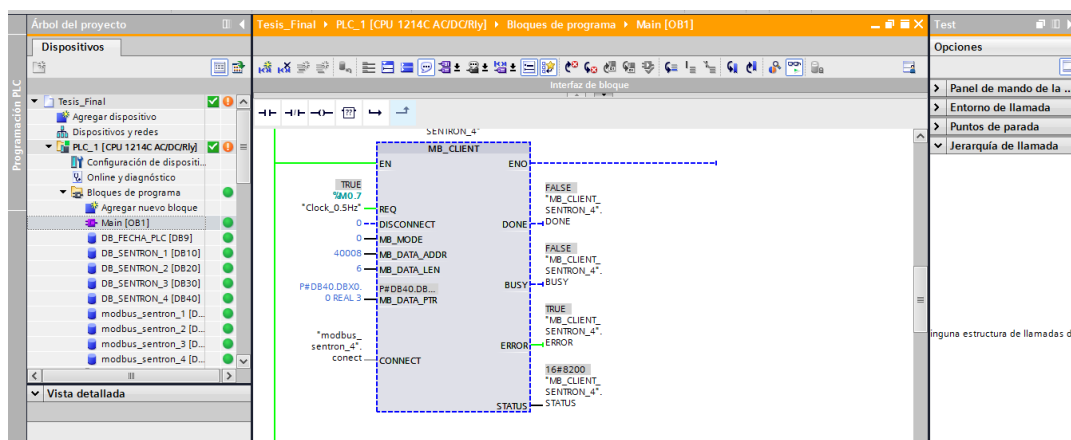
**Figura 53.** Configuración desde el panel del medidor de energía.

Una vez configurado cada uno de los medidores de acuerdo al medio donde van a estar acoplados, se realizó el montaje de todo el sistema conectando entre si los diferentes módulos y dispositivos conformados por: cuatro centrales de medida, un módulo de control (PLC), un switch Ethernet, una computadora y un motor. El objetivo de esta prueba fue verificar si los medidores de energía están transmitiendo los datos de las variables eléctricas al controlador y por lo tanto a la interfaz gráfica del sistema que consta de ventanas que visualizan y grafican las variables eléctricas, para ello se implementó el circuito de la figura 54. Los resultados fueron óptimos ya que el sistema empieza a visualizar los diferentes parámetros previamente programados para que aparezcan en la interfaz gráfica y en las curvas.



**Figura 54.** Conexionado del sistema

En la figura 55 se muestra la comunicación de los medidores con el PLC, que tiene un funcionamiento adecuado ya que se visualiza el bloque de programa, no arroja ningún error y corre adecuadamente.



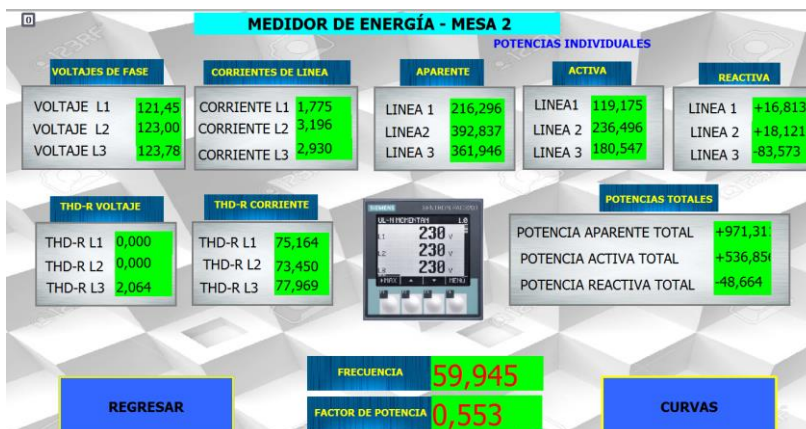
**Figura 55.** Comunicación de los medidores con el PLC.

Para visualizar las señales de las variables eléctricas es necesario ingresar a la base de datos del medidor a monitorear y en el ícono valor de observación nos muestra los valores de las variables eléctricas. Como se observa en la figura 56.

DB_SENTRON_4									
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Valor de observación	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	...
1	Static								
2	SENTRON_4	Array[1..50] ...	0.0				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	SENTRON_4_[1]	Real	0.0	0.0	215.5213	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	SENTRON_4_[2]	Real	4.0	0.0	215.7725	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	SENTRON_4_[3]	Real	8.0	0.0	215.5219	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	SENTRON_4_[4]	Real	12.0	0.0	1.372237	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	SENTRON_4_[5]	Real	16.0	0.0	1.38597	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	SENTRON_4_[6]	Real	20.0	0.0	1.4066	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	SENTRON_4_[7]	Real	24.0	0.0	170.5495	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	SENTRON_4_[8]	Real	28.0	0.0	172.7199	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	SENTRON_4_[9]	Real	32.0	0.0	175.2918	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	SENTRON_4_[10]	Real	36.0	0.0	33.52732	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	SENTRON_4_[11]	Real	40.0	0.0	29.34699	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	SENTRON_4_[12]	Real	44.0	0.0	33.19105	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	SENTRON_4_[13]	Real	48.0	0.0	167.4337	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	SENTRON_4_[14]	Real	52.0	0.0	170.0757	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	SENTRON_4_[15]	Real	56.0	0.0	171.9369	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	SENTRON_4_[16]	Real	60.0	0.0	518.5497	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	SENTRON_4_[17]	Real	64.0	0.0	96.06535	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	SENTRON_4_[18]	Real	68.0	0.0	509.4463	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	SENTRON_4_[19]	Real	72.0	0.0	0.1852577	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	SENTRON_4_[20]	Real	76.0	0.0	1.531664	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	SENTRON_4_[21]	Real	80.0	0.0	1.779886	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	SENTRON_4_[22]	Real	84.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

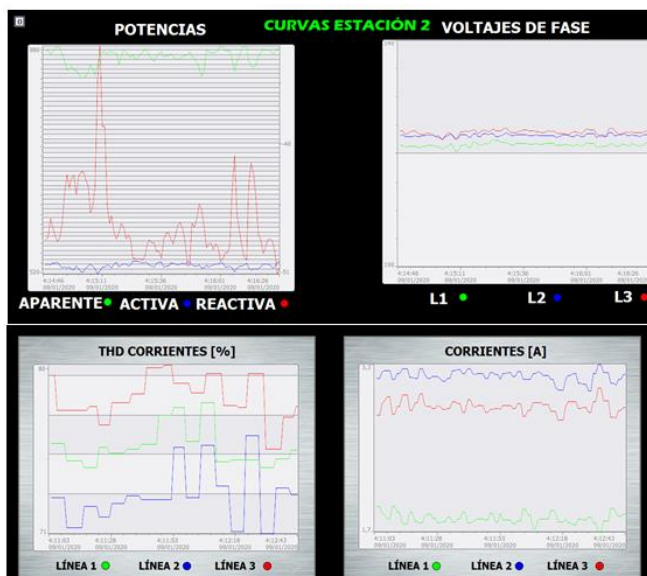
**Figura 56.** Lectura de variables eléctricas

En el sistema se visualiza datos de las variables eléctricas como se muestra en la figura 57, su comportamiento va de acuerdo a la carga que se aplique al sistema, las señales a monitorear fueron seleccionadas de acuerdo a la necesidad y utilidad que nos puedan dar estas variables ante los distintos comportamientos del sistema.



**Figura 57.** Ventana de medidas de las variables Eléctricas

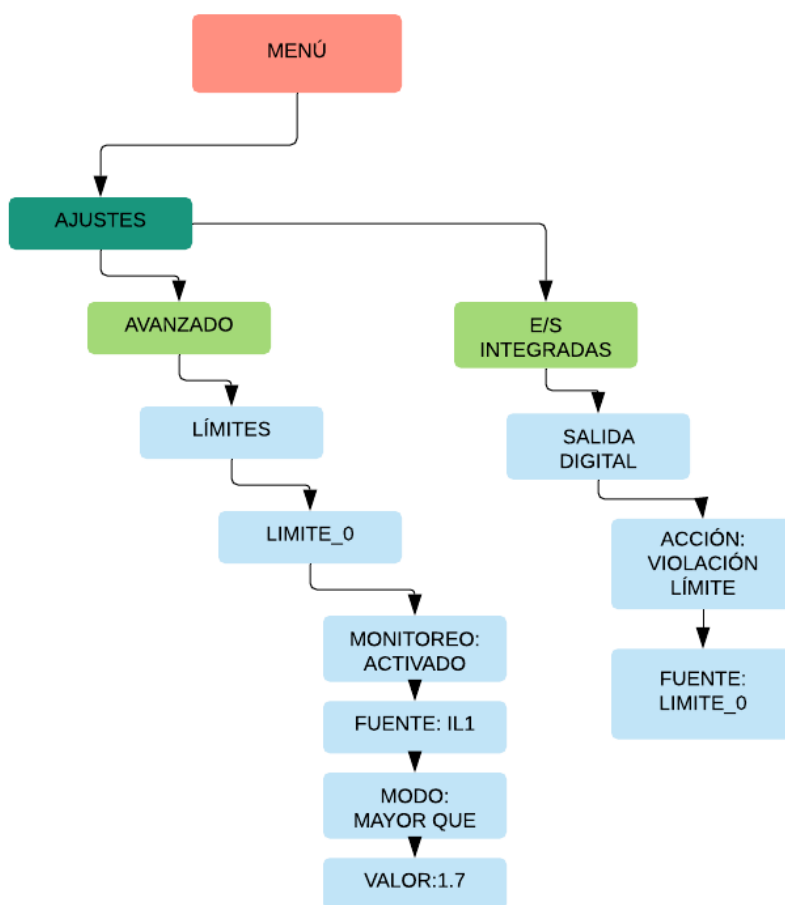
Con las gráficas del sistema se interpreta el comportamiento del mismo durante su funcionamiento, cada ventana con sus gráficas muestra: potencias totales, voltajes de cada línea, THD-R de corriente y corriente. En la figura 58 se visualiza las curvas que el sistema proporcional.



**Figura 58.** Curvas del sistema

### 5.14.2. Pruebas para la activación de la salida digital.

Al realizar esta prueba se programa la central de medida para activar la salida digital debido a un exceso de la corriente nominal del motor cuyo valor es 1.7A como se indica en la figura 59. Si existe un exceso de carga mecánica la corriente del motor sobrepasa el valor establecido, por lo que se emplea una acción de violación límite para que detecte la señal y se active una alarma. Se determina que el motor sigue funcionando mientras está activada la alarma. En la figura 60 se visualiza el diagrama de conexión.



**Figura 59.** Diagrama jerárquico para la activación de la salida digital.

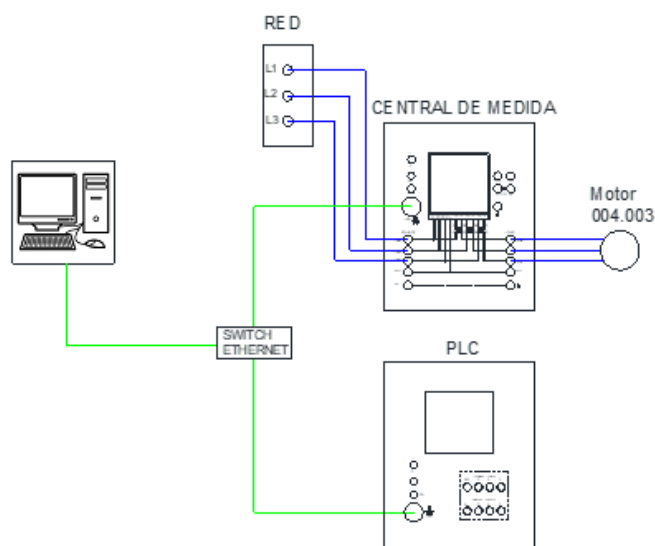




fase, THD-R de corrientes de línea, frecuencia de red y factor de potencia total, estos son guardados a intervalos de 1 segundo y se extraen los correspondientes para realizar graficas de: potencias totales aparentes, activas y reactivas, voltajes de fase L1,L2 y L3, THD-R de las corrientes L1,L2 y L3 y corrientes L1, L2 y L3, para cada una de las pruebas que se realizan y se presentan a continuación.

### 5.15.1. Motor asincrónico trifásico sin carga

Para la obtención de las curvas de los parámetros eléctricos medidos en el motor asincrónico trifásico (004.003) sin carga se realiza la conexión indicada en la figura 61. Los valores obtenidos de los parámetros eléctricos se muestran en la tabla 24, mientras que en las figuras 62, 63, 64 y 65 se observan las curvas características de las variables eléctricas vs tiempo, obtenidas y graficadas de la base de datos que genera el sistema. Para mayor detalle ver Anexo M.

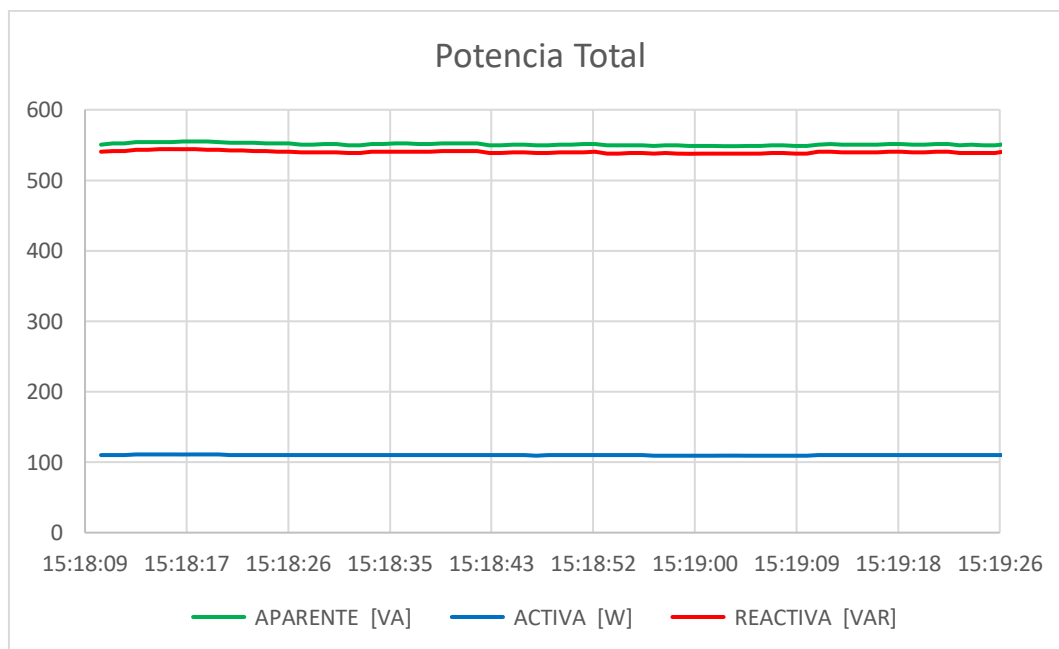


**Figura 61.** Conexión motor asincrónico trifásico

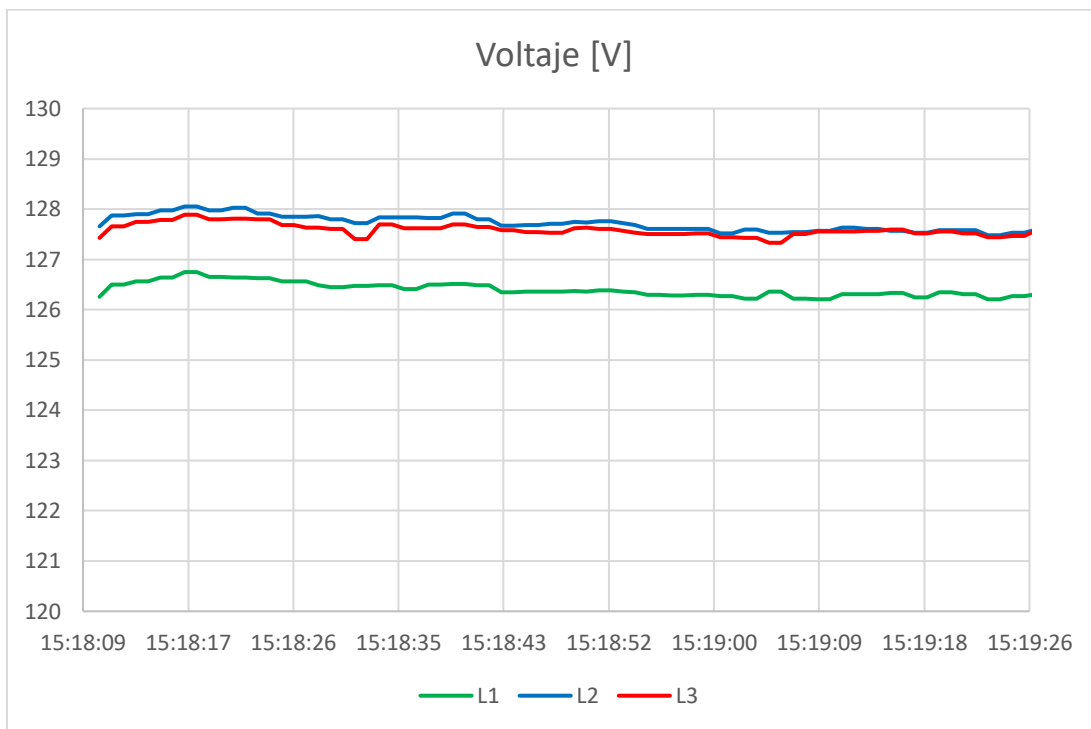
Tabla 24

*Variables eléctricas medidas en el motor asincrónico trifásico (004.003) sin carga*

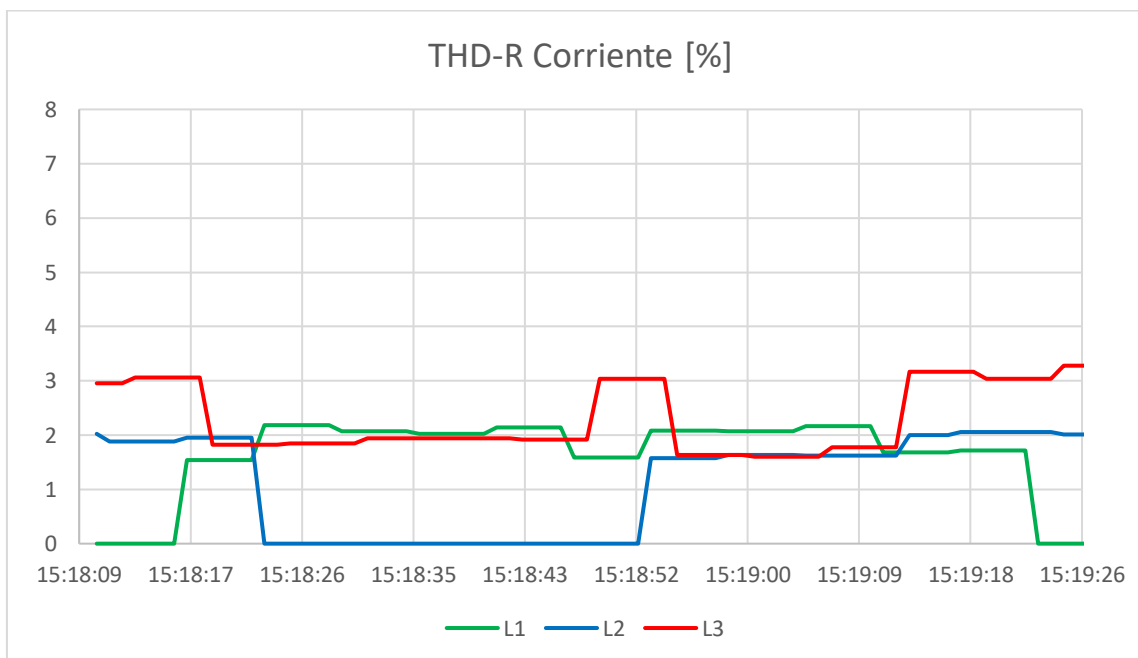
Magnitudes	L1	L2	L3	Total
<b>Voltaje (V)</b>	126,61	128,00	127,73	
<b>Corriente (A)</b>	1,43	1,45	1,44	
<b>THD de voltaje (%)</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
<b>THD de corriente (%)</b>	2,28	1,59	1,60	
<b>Potencia activa (W)</b>	35,99	35,49	38,46	110,01
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	178,13	182,60	180,26	541,00
<b>Potencia aparente (VA)</b>	181,61	186,06	184,172	552,130
<b>PF</b>				0,199
<b>Frecuencia</b>				60,019



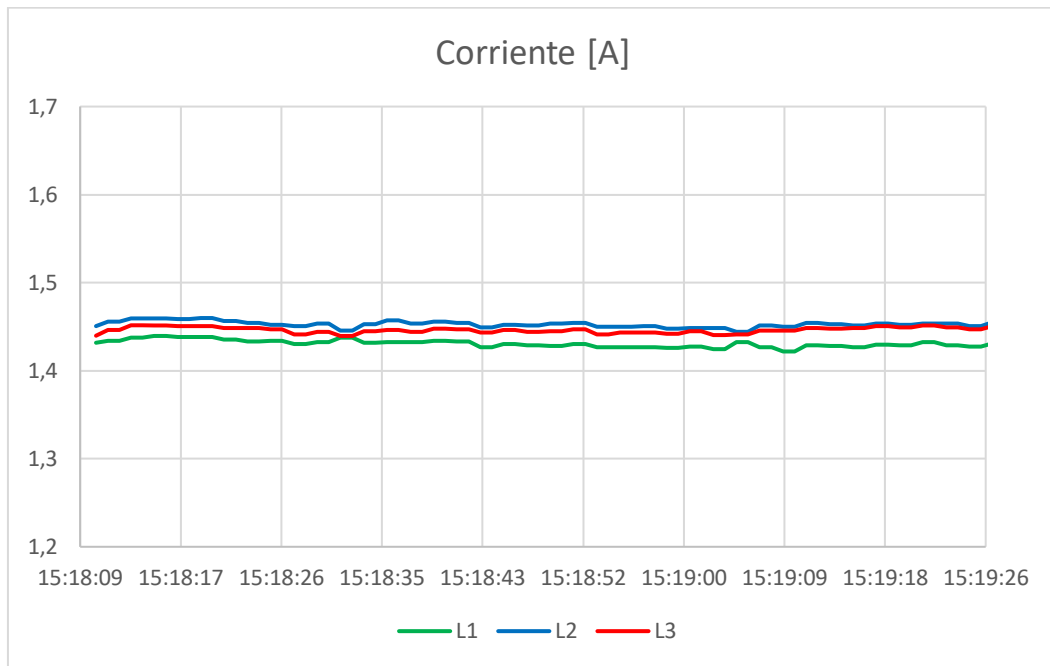
**Figura 62.** Potencias totales de un motor asincrónico trifásico sin carga



**Figura 63.** Voltajes de fase de un motor asincrónico trifásico sin carga



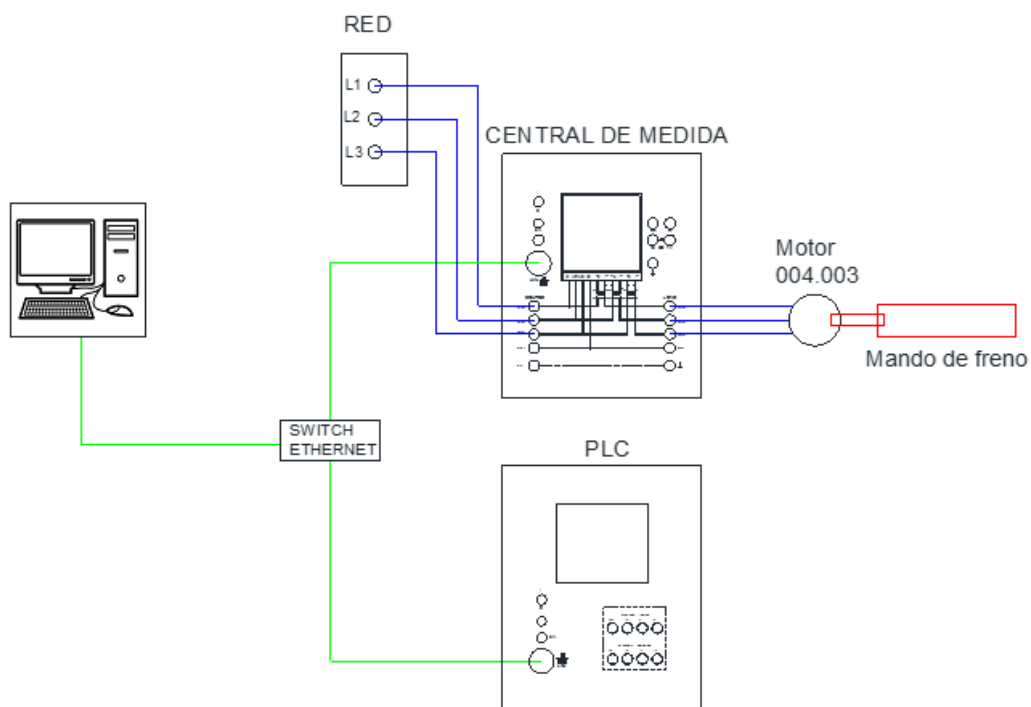
**Figura 64.** THD\_R de corriente en un motor asincrónico trifásico sin carga



**Figura 65.** Corrientes de un motor asincrónico trifásico sin carga

### 5.15.2. Motor asincrónico trifásico con carga

Para la obtención de las curvas de los parámetros eléctricos medidos en el motor asincrónico trifásico (004.003) aplicando una carga con el mando de freno hasta que el motor alcance su corriente nominal de 1.75A, realizar la conexión indicada en la figura 66. Los valores obtenidos de los parámetros eléctricos se muestran en la tabla 25, mientras que en las figuras 67, 68, 69 y 70 se observan las curvas características de las variables eléctricas vs tiempo, obtenidas de la base de datos que genera el sistema.

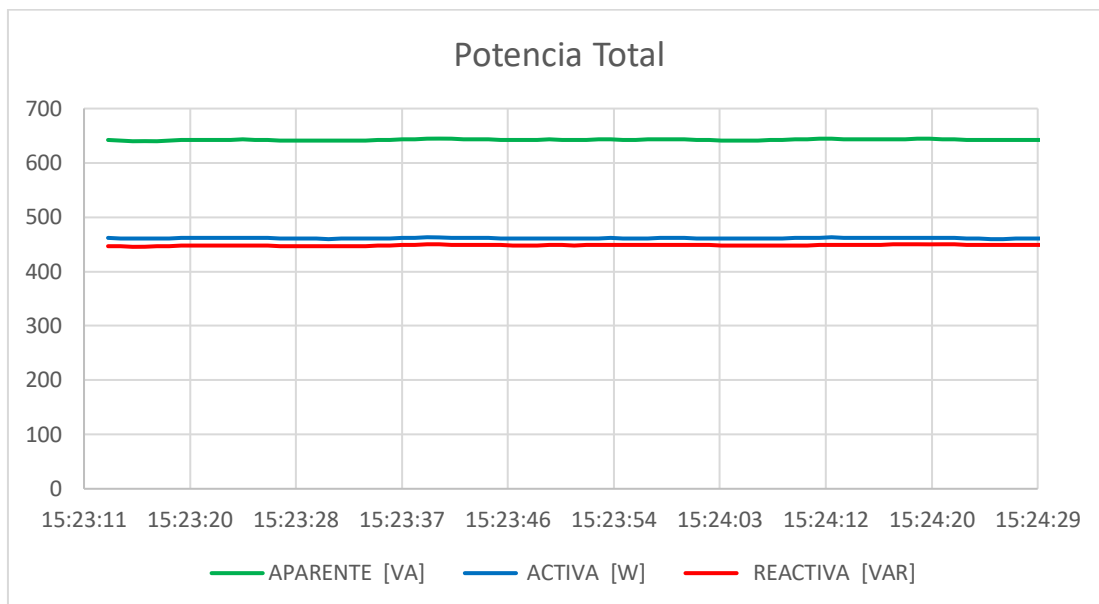


**Figura 66.** Conexión del motor asíncrono trifásico con mando de freno

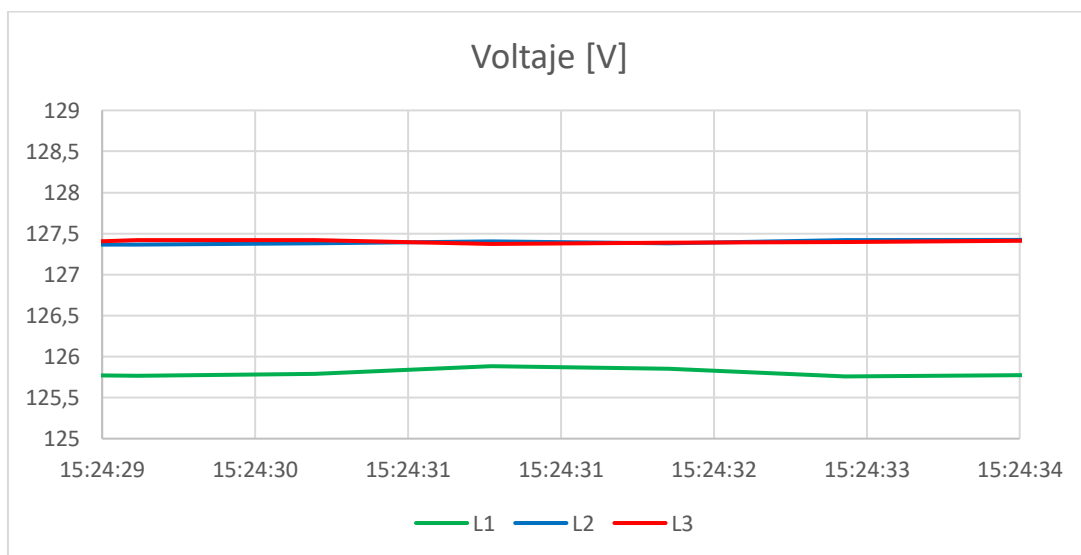
**Tabla 25**

*Variables eléctricas medidas en el motor asíncrono trifásico (004.003) con carga*

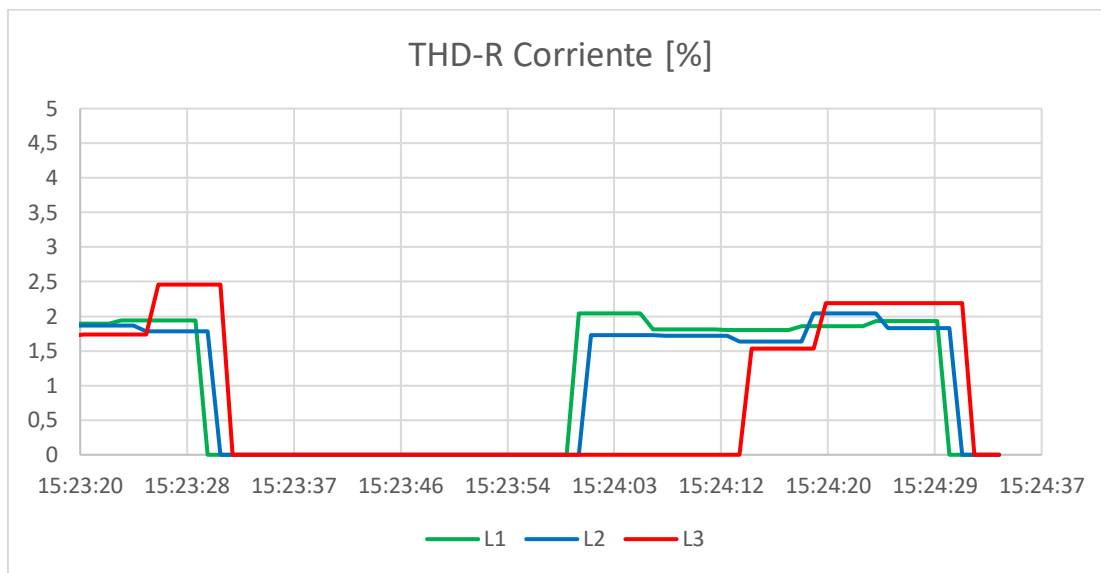
Magnitudes	L1	L2	L3	Total
Voltaje (V)	125,34	126,99	126,88	
Corriente (A)	1,726	1,753	1,748	
THD de voltaje (%)	0,00	0,00	0,00	
THD de corriente (%)	2,14	2,03	2,15	
Potencia activa (W)	158,77	161,48	164,13	484,39
Potencia reactiva (VAR)	147,59	153,69	149,90	451,18
Potencia aparente (VA)	216,42	222,69	221,85	661,10
PF				0,73
Frecuencia				59,95



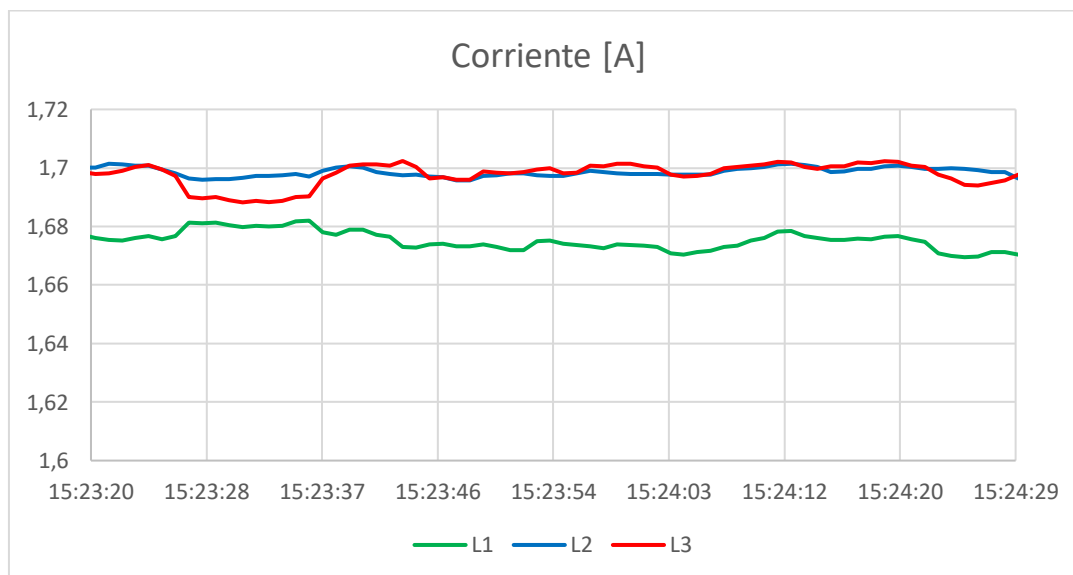
**Figura 67.** Potencias totales de un motor asincrónico trifásico con carga



**Figura 68.** Voltaje de fase de un motor asincrónico trifásico con carga



**Figura 69.** THD\_R de corrientes de un motor asincrónico trifásico con carga

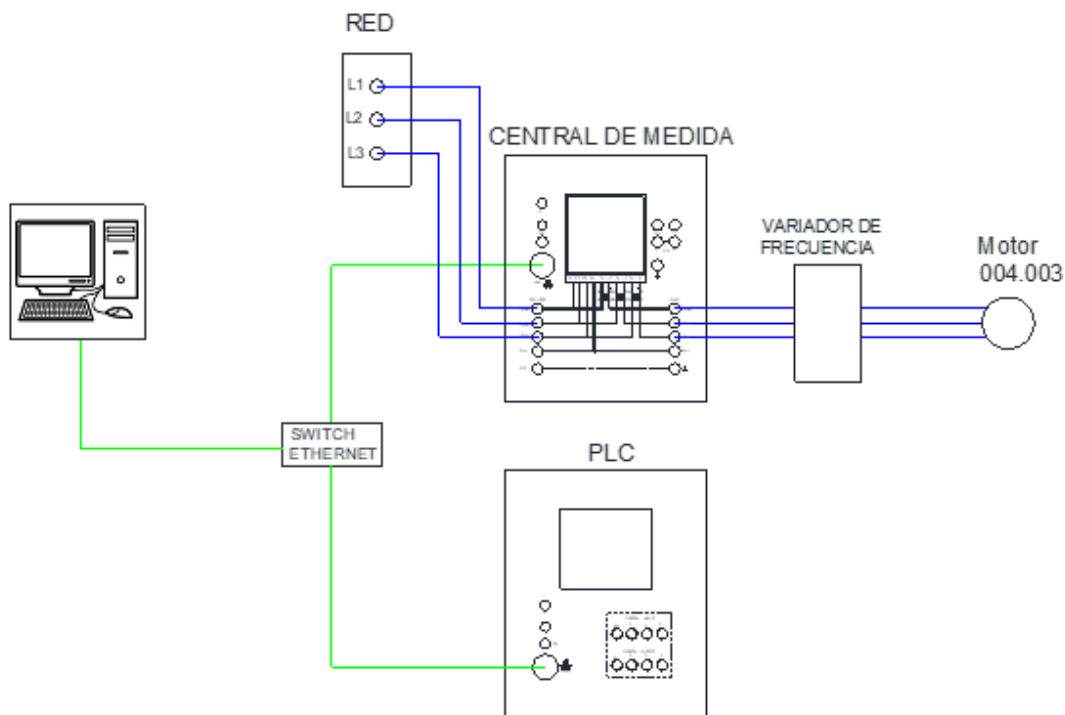


**Figura 70.** Corrientes de un motor asincrónico trifásico con carga



### 5.15.3. Variador de frecuencia a 30Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico en vacío

Para la obtención de las curvas de los parámetros eléctricos medidos en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 30Hz conectado a un motor asincrónico trifásico (004.003) realizar la conexión indicada en la figura 71. Los valores obtenidos de los parámetros eléctricos se muestran en la tabla 26, mientras que en las figuras 72, 73, 74 y 75 se observan las curvas características de las variables eléctricas vs tiempo, obtenidas de la base de datos que genera el sistema. Para mayor detalle ver Anexo M.

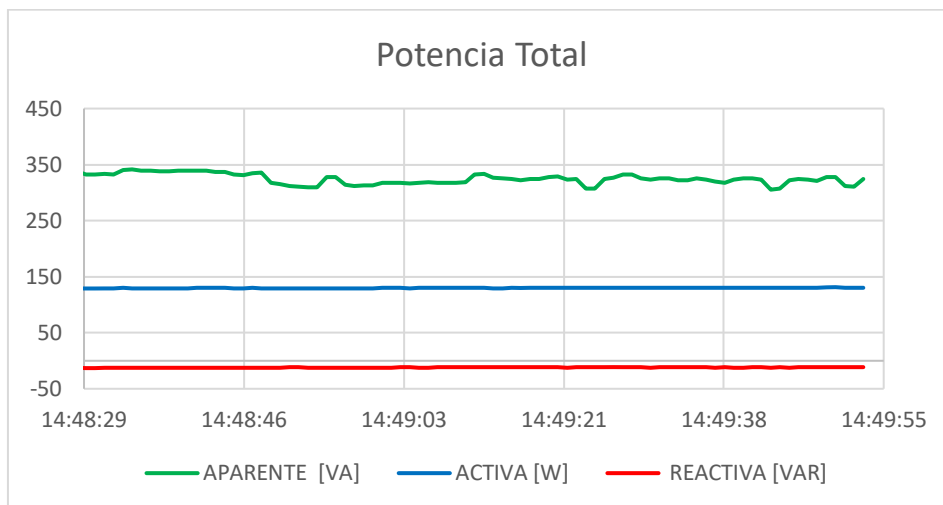


**Figura 71.** Conexión motor asíncrono trifásico con un variador de frecuencia

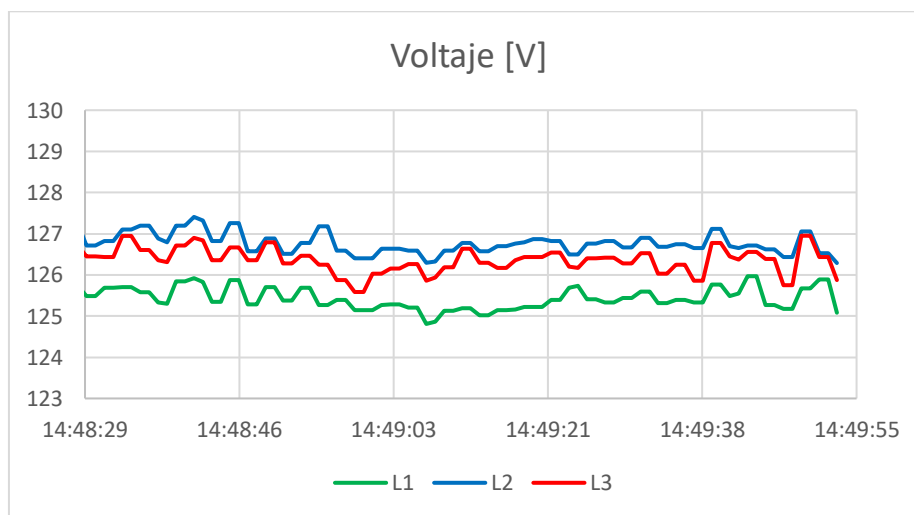
**Tabla 26**

*Variables eléctricas medidas en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 30Hz de frecuencia con un motor asíncrono trifásico en vacío*

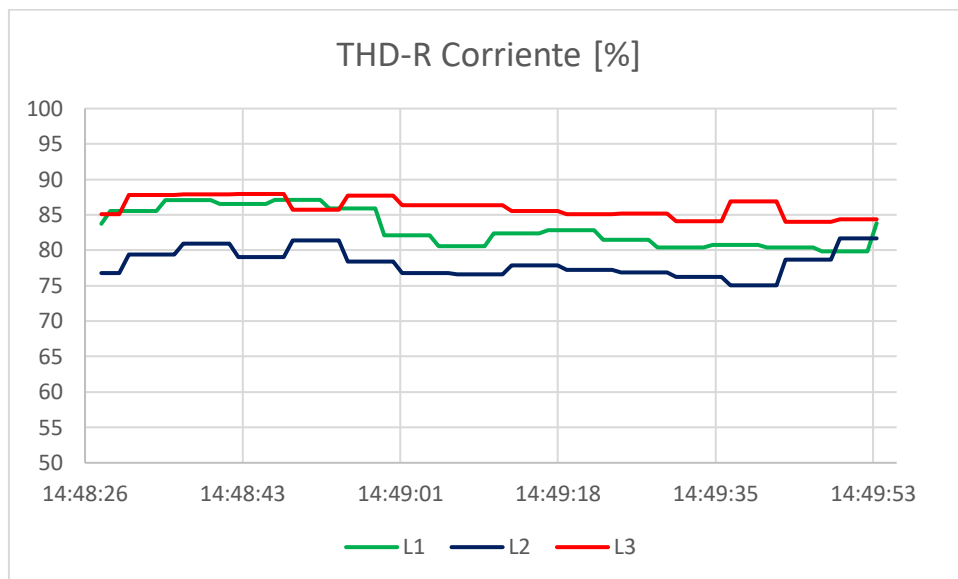
<b>Magnitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>Total</b>
<b>Voltaje (V)</b>	125,46	127,11	126,73	
<b>Corriente (A)</b>	0,58	1,08	0,91	
<b>THD de voltaje (%)</b>	1,92	0,00	0,00	
<b>THD de corriente (%)</b>	82,47	79,90	86,37	
<b>Potencia activa (W)</b>	26,21	61,87	35,99	123,97
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	10,08	0,63	-24,32	-13,60
<b>Potencia aparente (VA)</b>	71,02	138,96	118,62	326,804
<b>PF</b>				0,37
<b>Frecuencia</b>				60,01



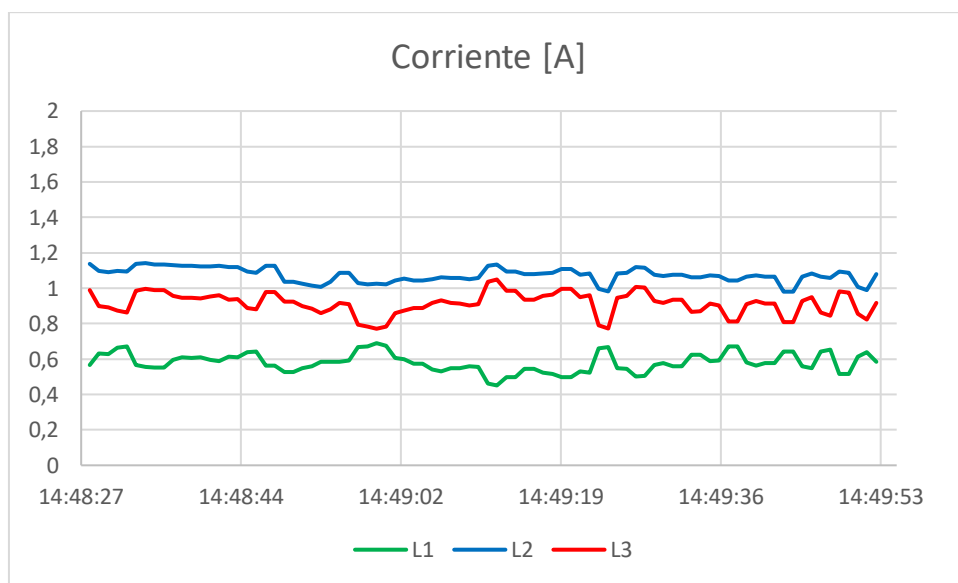
**Figura 72.** Potencias totales de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz



**Figura 73.** Voltajes de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz



**Figura 74.** THD\_R de corrientes de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz



**Figura 75.** Corrientes de línea de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz

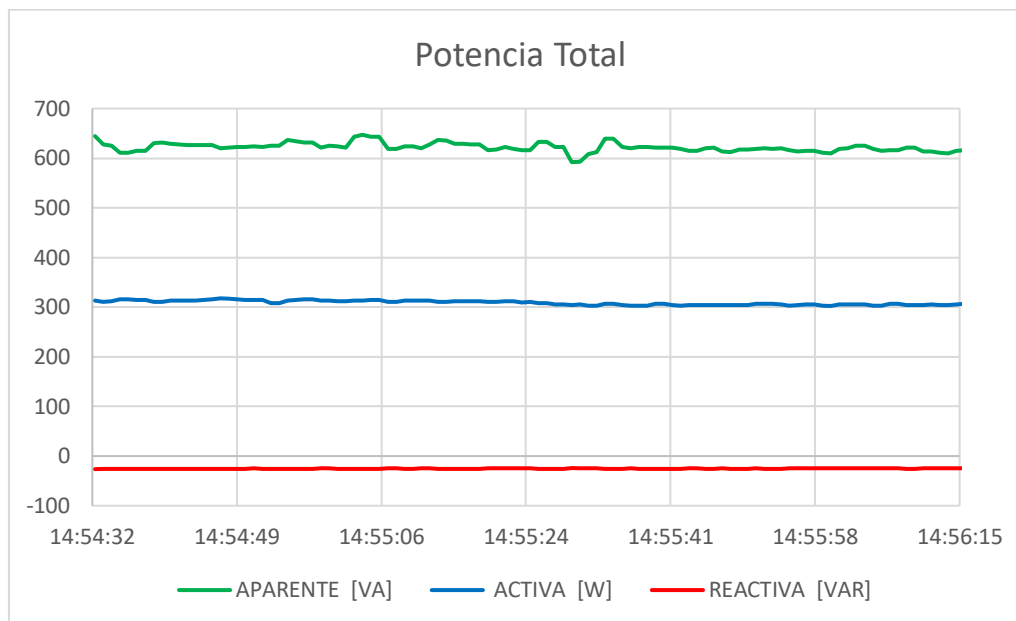
#### 5.15.4. Variador de frecuencia a 30Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico con carga a corriente nominal

Para la obtención de las curvas de los parámetros eléctricos medidos en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 30Hz de frecuencia conectado a un motor asincrónico trifásico (004.003) con carga a corriente nominal, poner en marcha el sistema y obtener la base de datos. Los valores obtenidos de los parámetros eléctricos se muestran en la tabla 27, mientras que en las figuras 76, 77, 78 y 79 se observan las curvas características de las variables eléctricas vs tiempo, obtenidas de la base de datos que genera el sistema.

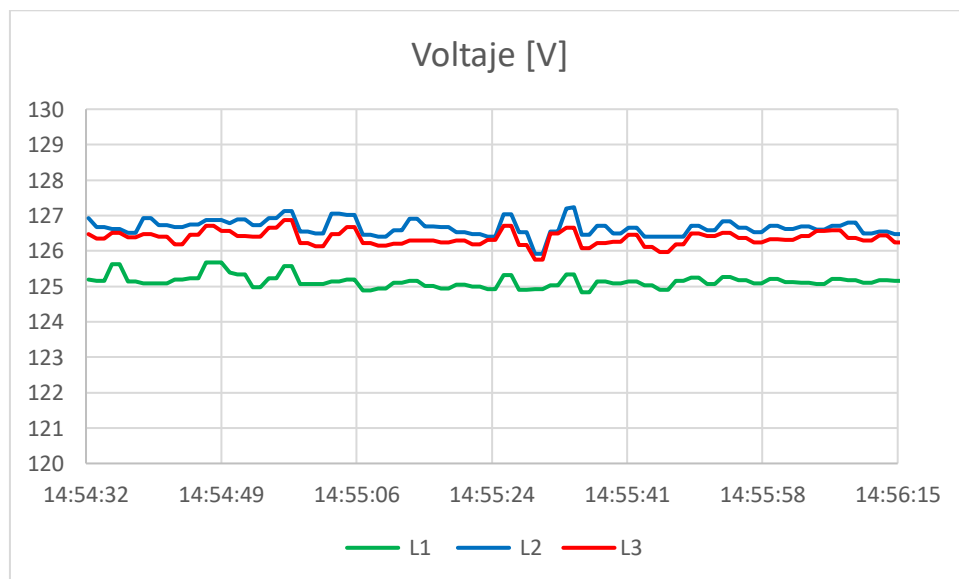
**Tabla 27**

*Variables eléctricas medidas en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 30Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico a plena carga*

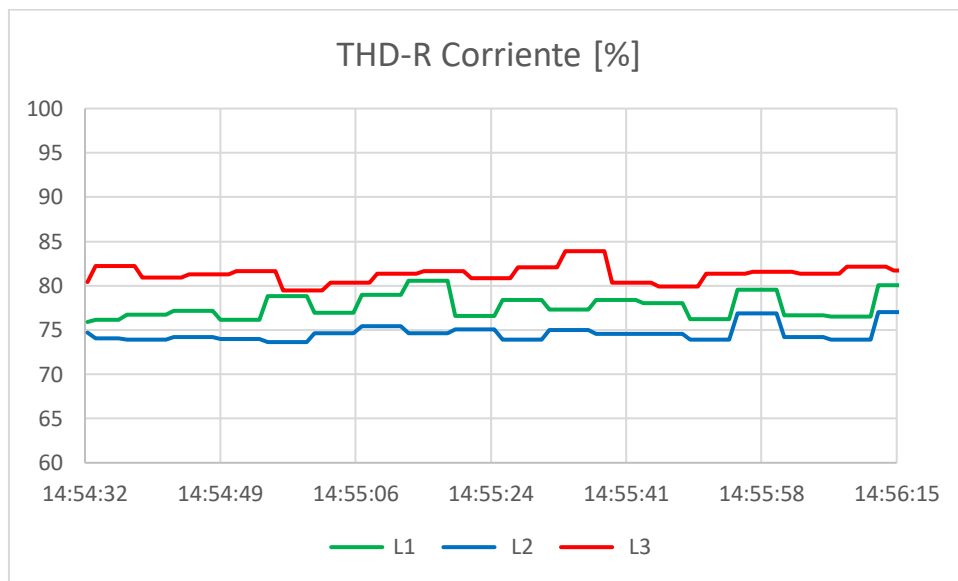
Magnitudes	L1	L2	L3	Total
<b>Voltaje (V)</b>	125,20	127,16	127,09	
<b>Corriente (A)</b>	1,32	2,15	1,78	
<b>THD de voltaje (%)</b>	0,00	0,00	0,00	
<b>THD de corriente (%)</b>	80,49	76,70	81,51	
<b>Potencia activa (W)</b>	86,35	147,73	94,80	329,00
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	20,20	-3,33	-43,37	-26,58
<b>Potencia aparente (VA)</b>	167,02	274,23	226,34	667,60
<b>PF</b>				0,49
<b>Frecuencia</b>				60,034



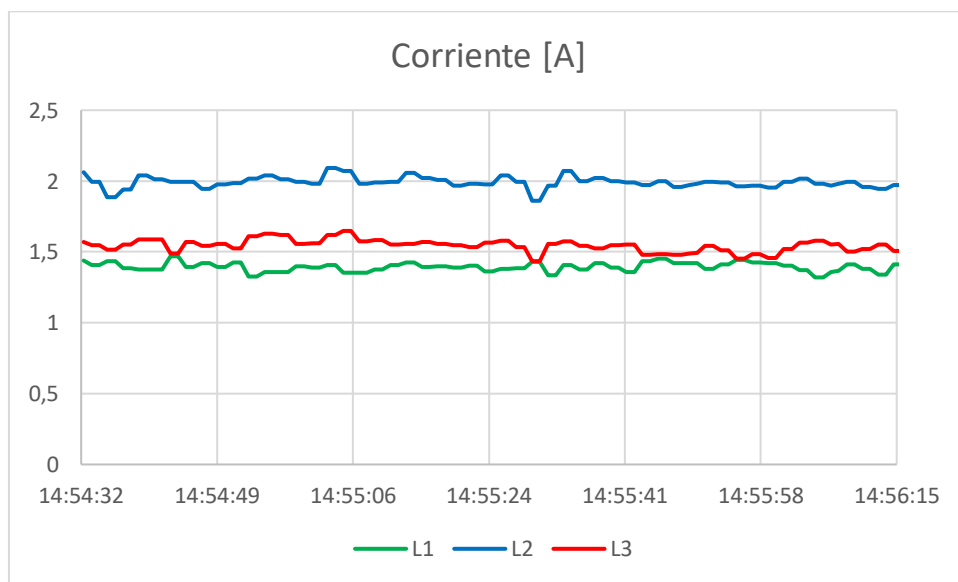
**Figura 76.** Potencias totales de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz



**Figura 77.** Voltajes de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz



**Figura 78.** THD\_R de corrientes de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz



**Figura 79.** Corrientes de línea de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 30 Hz

### 5.15.5. Variador de frecuencia a 60Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico en vacío

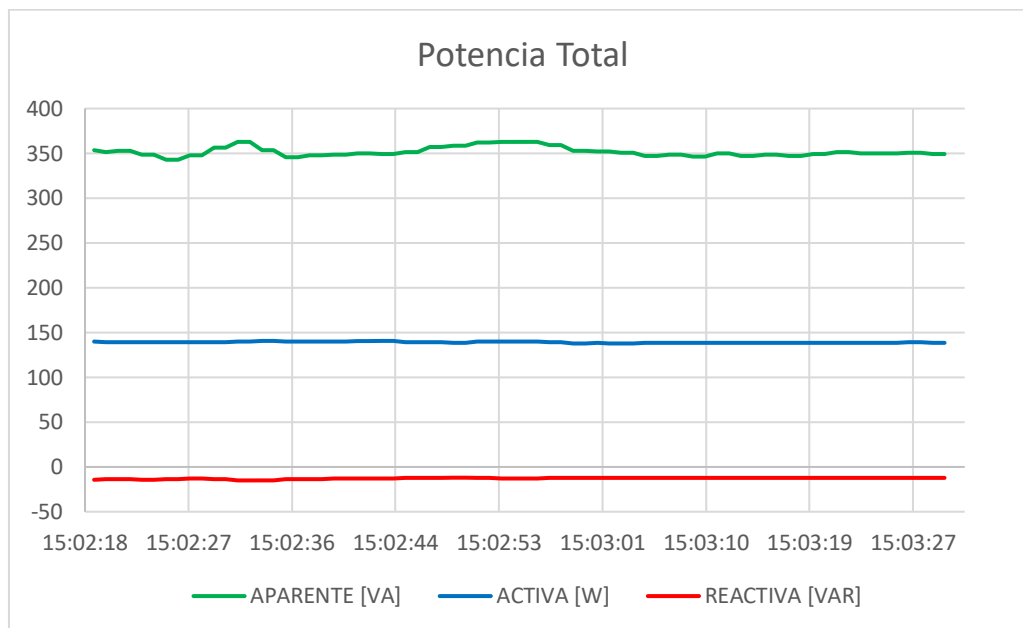
Para la obtención de las curvas de los parámetros eléctricos medidos en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 60Hz de frecuencia conectado a un motor asincrónico trifásico (004.003), poner en marcha el sistema y obtener la base de datos. Los valores obtenidos de los parámetros eléctricos se muestran en la tabla 28, mientras que en las figuras 80, 81, 82 y 83 se observan las curvas características de las variables eléctricas vs tiempo, obtenidas de la base de datos que genera el sistema.

**Tabla 28**

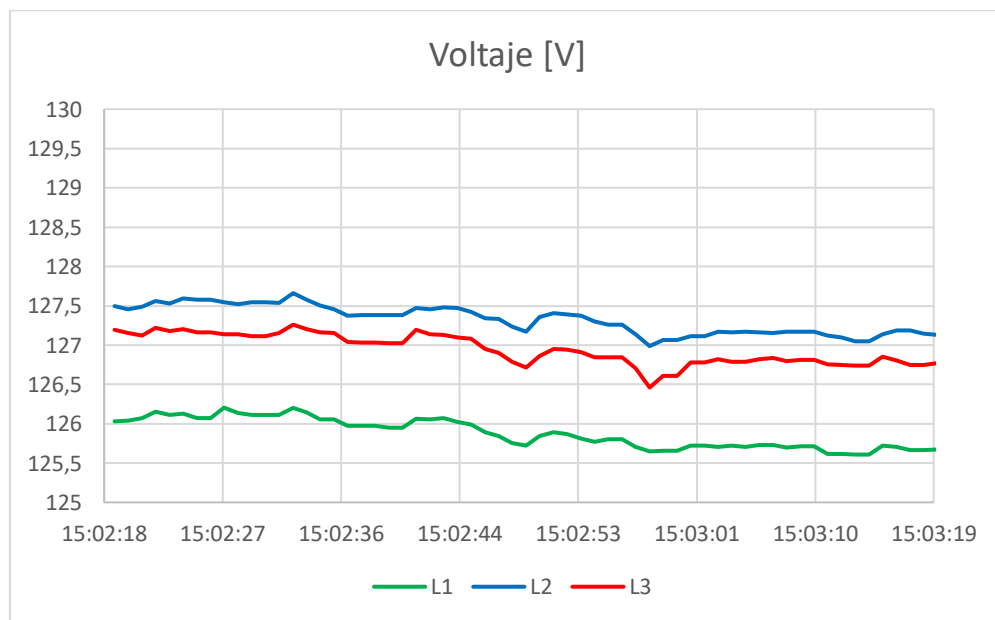
*Variables eléctricas medidas en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 60Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico en vacío*

<b>Magnitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>Total</b>
<b>Voltaje (V)</b>	125,03	126,54	126,21	
<b>Corriente (A)</b>	0,64	1,61	0,96	
<b>THD de voltaje (%)</b>	0,00	0,00	0,00	
<b>THD de corriente (%)</b>	86,55	82,54	88,19	
<b>Potencia activa (W)</b>	32,91	68,21	35,77	136,89
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	13,43	-2,44	-24,67	-13,68
<b>Potencia aparente (VA)</b>	82,62	145,98	119,36	347,97
<b>PF</b>				0,393
<b>Frecuencia</b>				60,01

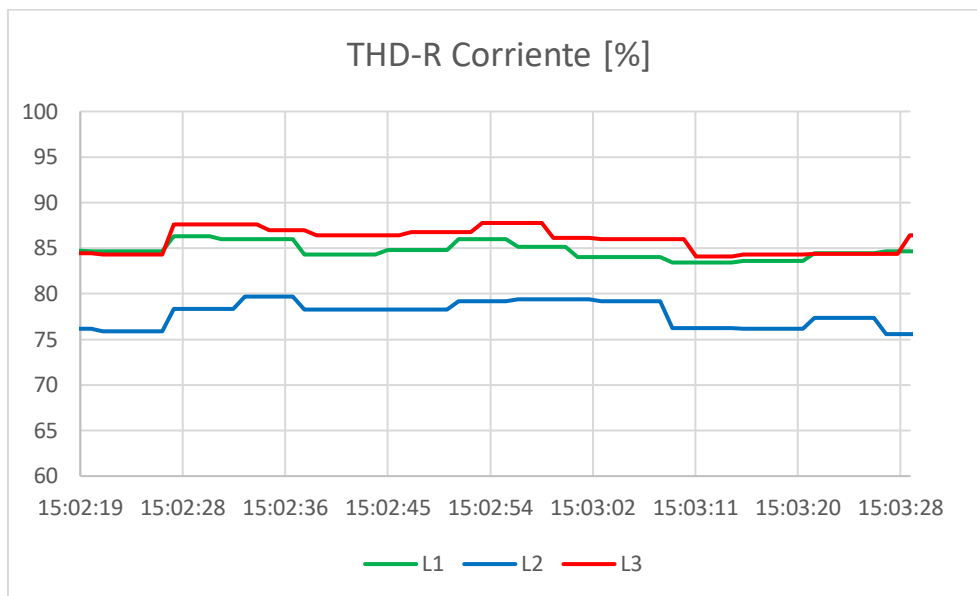




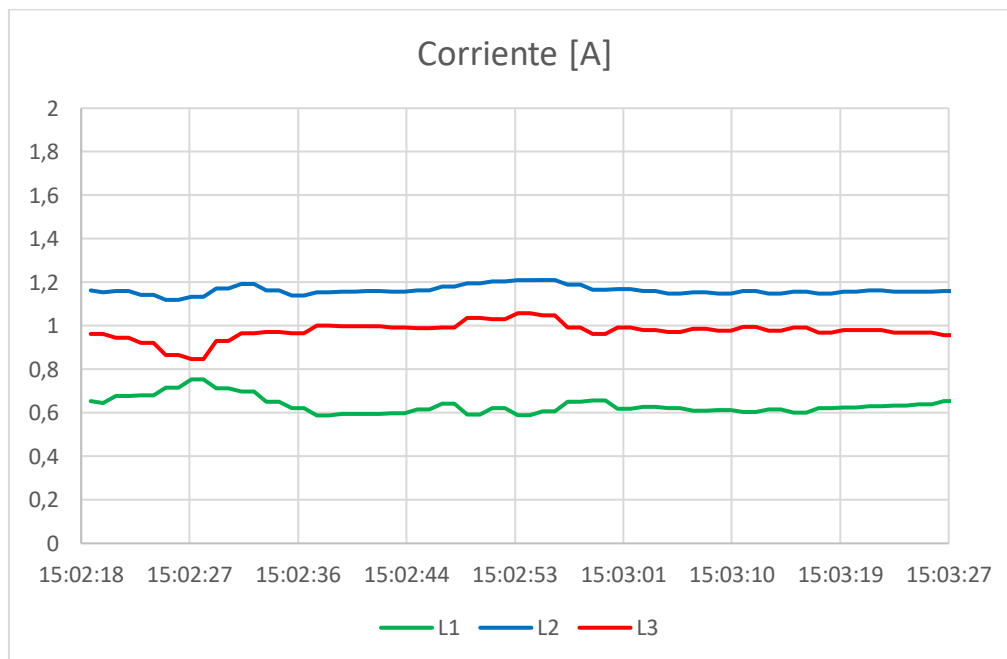
**Figura 80.** Potencias totales de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz



**Figura 81.** Voltajes de fase de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz



**Figura 82.** THD\_R de corrientes de un motor asincrónico trifásico en vacío mediante un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz



**Figura 83.** Corrientes de línea de un motor asincrónico trifásico en vacío mediante un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz

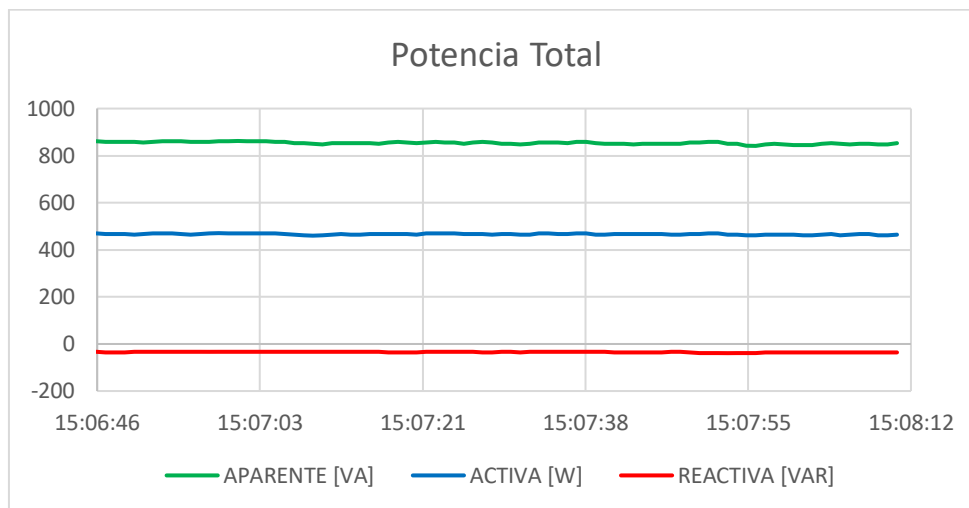
### 5.15.6. Variador de frecuencia a 60Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico con carga a corriente nominal

Para la obtención de las curvas de los parámetros eléctricos medidos en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 60Hz de frecuencia conectado a un motor asincrónico trifásico (004.003) con carga a corriente nominal, poner en marcha el sistema y obtener la base de datos. Los valores obtenidos de los parámetros eléctricos se muestran en la tabla 29, mientras que en las figuras 84, 85, 86 y 87 se observan las curvas características de las variables eléctricas vs tiempo, obtenidas de la base de datos que genera el sistema.

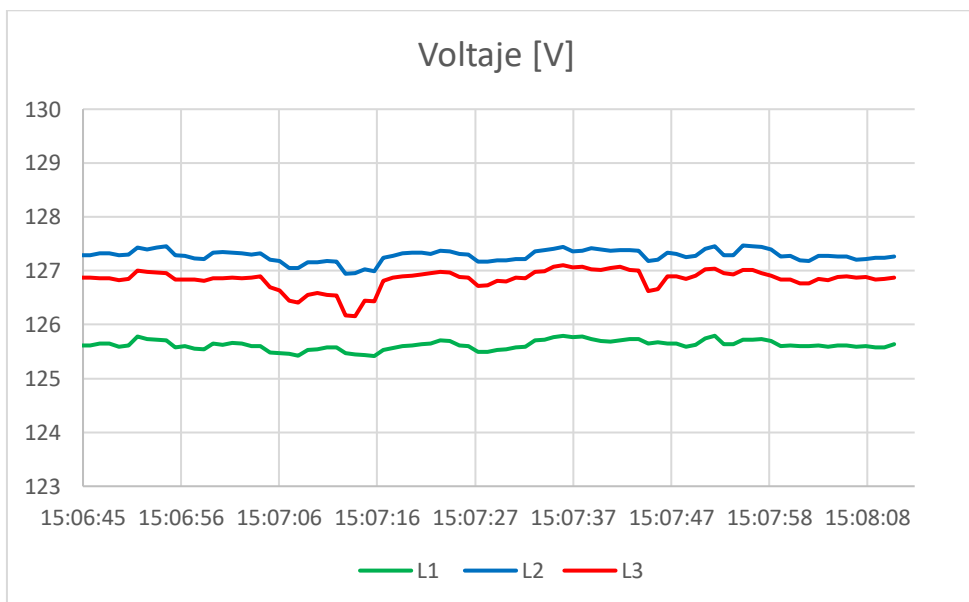
**Tabla 29**

*Variables eléctricas medidas en el variador de frecuencia Micromaster 440 a 60Hz de frecuencia con un motor asincrónico trifásico a plena carga*

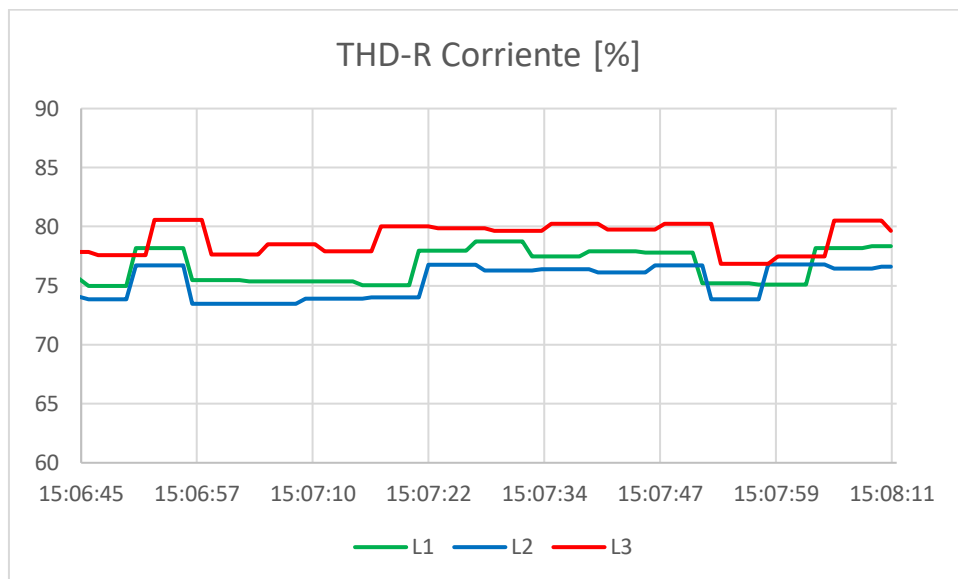
<b>Magnitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>Total</b>
<b>Voltaje (V)</b>	125,47	127,16	126,73	
<b>Corriente (A)</b>	2,06	2,65	2,12	
<b>THD de voltaje (%)</b>	0,00	0,00	0,00	
<b>THD de corriente (%)</b>	77,90	76,32	79,51	
<b>Potencia activa (W)</b>	146,53	191,81	133,25	471,59
<b>Potencia reactiva (VAR)</b>	19,87	-20,73	-36,98	-37,84
<b>Potencia aparente (VA)</b>	259,49	337,12	268,83	865,46
<b>PF</b>				0,54
<b>Frecuencia</b>				60,00



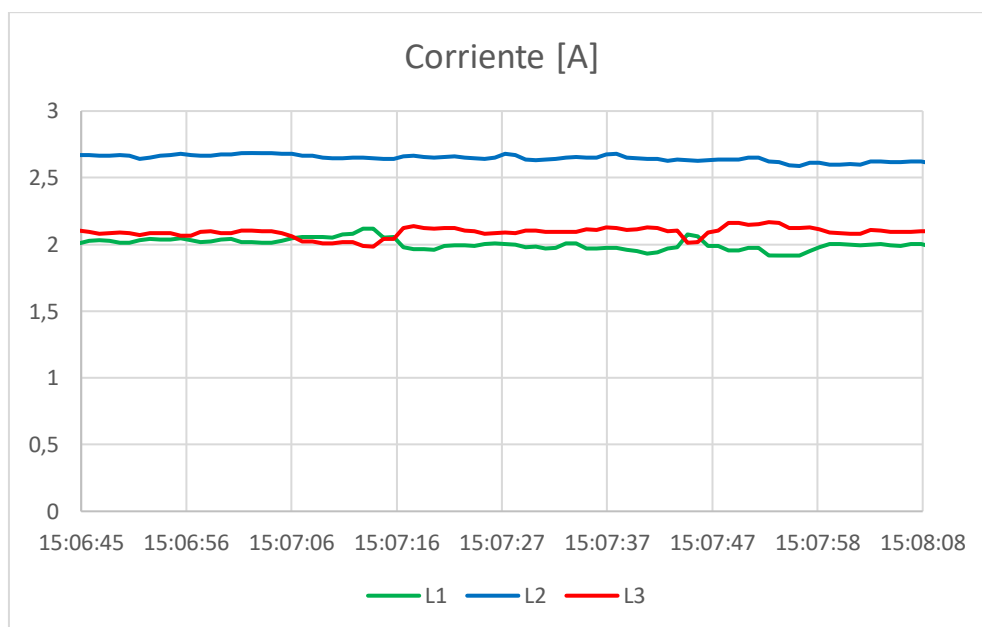
**Figura 84.** Potencias de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz



**Figura 85.** Voltajes de fase de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz



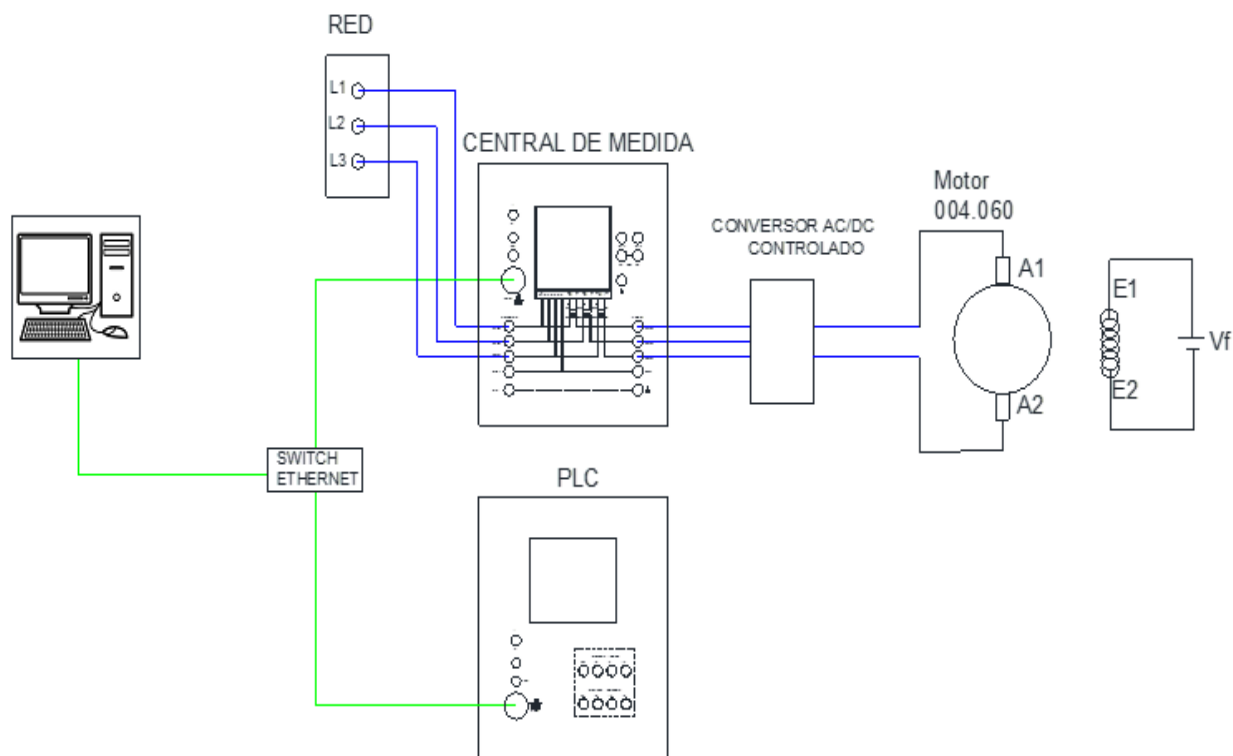
**Figura 86.** THD\_R de corrientes de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz



**Figura 87.** Corrientes de línea de un motor con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz

### 5.15.7 Conversor AC/DC controlado con carga

Para la obtención de las curvas de los parámetros eléctricos medidos en el mando de tiristores (010.441) con el motor DC (004.060) aplicando una carga con el freno hasta alcanzar la corriente nominal del motor se debe realizar la conexión indicada en la figura 88. Los valores obtenidos de los parámetros eléctricos se muestran en la tabla 30, mientras que en las figuras 89, 90, 91 y 92 se observan las curvas características de las variables eléctricas vs tiempo, obtenidas de la base de datos que genera el sistema.

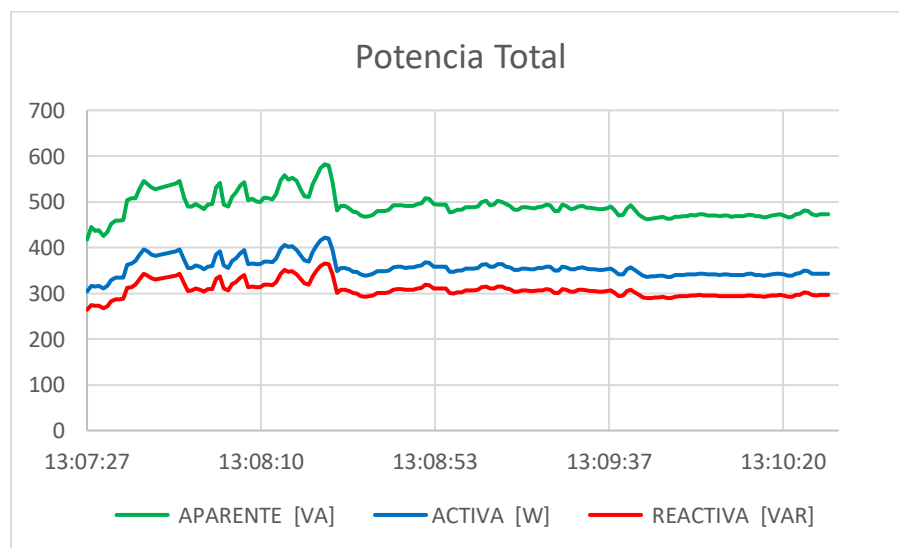


**Figura 88.** Conexión con el conversor AC/DC

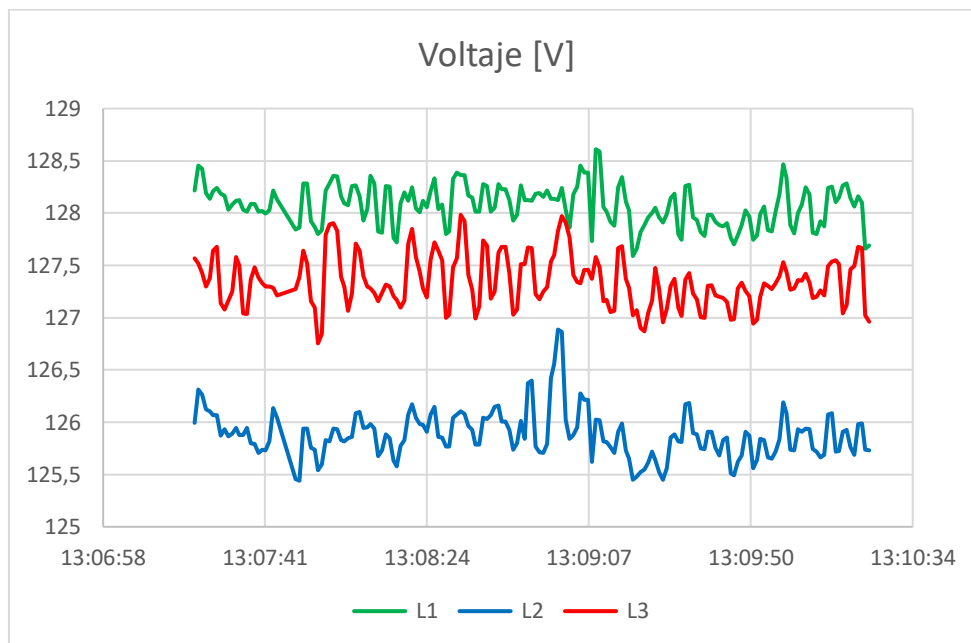
Tabla 30

Variables eléctricas medidas en el conversor AC/DC no controlado con carga un motor de CC (004.006).

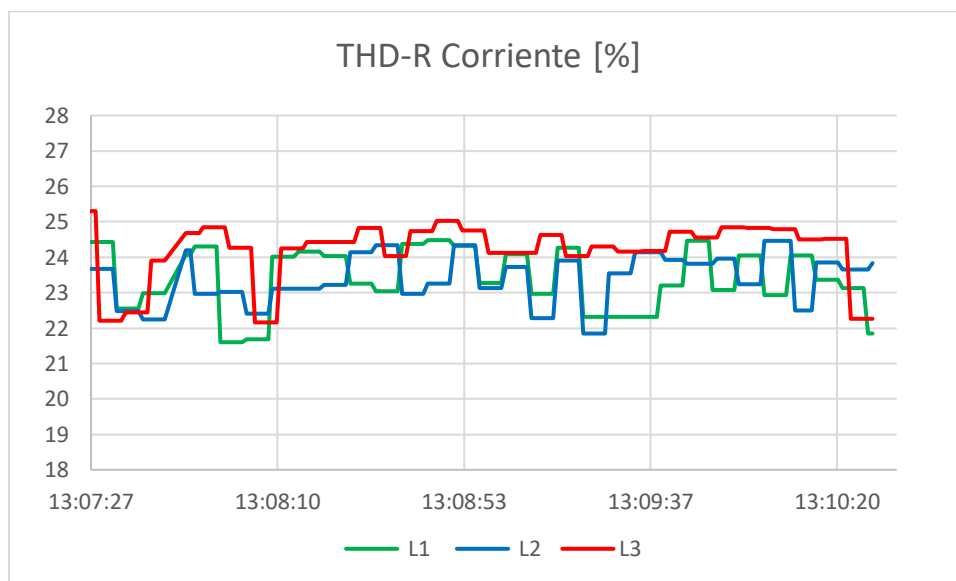
Magnitudes	L1	L2	L3	Total
Voltaje (V)	129.12	126.43	127.74	
Corriente (A)	1,27	1.28	1,26	
THD de voltaje (%)	2.2	0	0	
THD de corriente (%)	22,80	22,025	22.73	
Potencia activa (W)	119.31	116.22	115.62	360.23
Potencia reactiva (VAR)	105.16	103.69	103.31	316.48
Potencia aparente (VA)	165.502	162.21	161.91	500.787
PF				0.720
Frecuencia				59,96



**Figura 89.** Potencias Totales de un motor de DC con carga a un conversor AC/DC controlado.

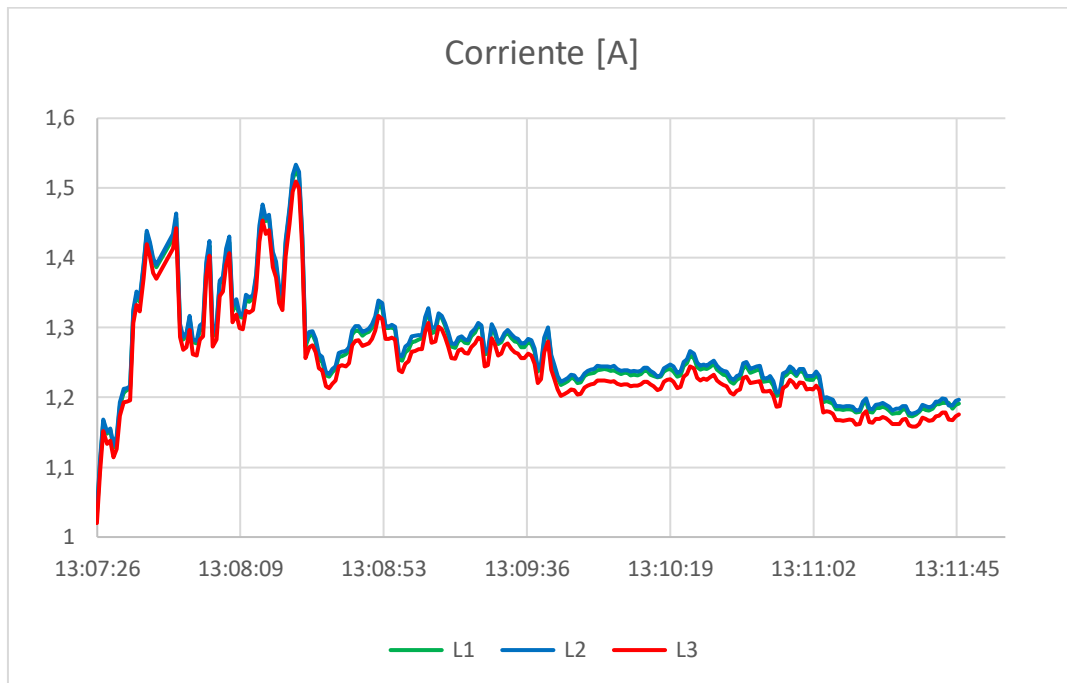


**Figura 90.** Voltajes de fase de un motor de DC con carga a un convertor AC/DC controlado.



**Figura 91.** THD\_R de corrientes de un motor de DC con carga a un convertor AC/DC controlado.





**Figura 92.** Corrientes de línea de un motor de DC con carga a un convertor AC/DC controlado.

De las variables obtenidas en el literal 5.15 se desprende la similitud con las curvas obtenidas en el punto 5.14.1 por lo que la obtención de las curvas en forma manual es una alternativa para que el estudiante haga uso y manejo de la base.

### 5.16. Cálculo de error del sistema

Para el cálculo del error se considera las mediciones más representativas en cuanto a valores de THD's considerando también el factor de potencia, se eligió las mediciones de las pruebas detalladas en los apartados: 5.15.5 y 5.15.6

En la tabla 31 se detallan los valores de THD-R y FP de las pruebas realizadas al conectar un motor asincrónico trifásico funcionando en vacío mediante un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz

**Tabla 31**

*Cálculo del Error con dos dispositivos de medida al conectar un motor asincrónico trifásico funcionando en vacío mediante un variador de frecuencia a 60 Hz*

<b>MAGNITUDES</b>					
<b>Equipos</b>	<b>THD-R L1</b>	<b>THD-R L2</b>	<b>THD-R L3</b>	<b>FP</b>	<b>IL1</b>
<b>Sentron</b>	86,55	82,54	88,19	0,393	0,6
<b>Pac_3200</b>					
<b>Fluke 434</b>	89,1	88,4	92,9	0,39	0,6
<b>ERROR (%)</b>					
	2,94	6,62	5,34	0,76	0

En la tabla 32 se detallan los valores de THD-R y FP de las pruebas realizadas al conectar un motor asincrónico trifásico funcionando a plena carga con un variador de frecuencia Micromaster 440 a 60 Hz

**Tabla 32**

*Cálculo del Error con dos dispositivos de medida al conectar un motor asincrónico trifásico funcionando a plena carga mediante un variador de frecuencia a 60 Hz.*

<b>MAGNITUDES</b>					
<b>Equipos</b>	<b>THD-R L1</b>	<b>THD-R L2</b>	<b>THD-R L3</b>	<b>FP</b>	<b>IL1</b>
<b>Sentron Pac_3200</b>	77,90	76,32	79,51	0,54	2,06
<b>Fluke 434</b>	82,1	82,1	85,7	0,54	2,1
<b>ERROR (%)</b>					
	5,39	7,57	7,78	0	1,9

En la tabla 33 se obtiene el valor promedio de error de la central de medida respecto al analizador de energía Fluke 434.

**Tabla 33**

*Cálculo de error promedio en base a datos de dos pruebas más representativas*

<b>Cálculo de error promedio</b>						
	<b>THD-R L1</b>	<b>THD-R L2</b>	<b>THD-R L3</b>	<b>FP</b>	<b>IL1</b>	<b>Promedio total</b>
<b>ERROR (%)</b>	2,94	6,62	5,34	0,76	0	3,13
<b>ERROR (%)</b>	5,39	7,57	7,78	0	1,9	4,52
<b>Promedio Error</b>	4.16	7.09	6,56	0,38	0.95	<b>3,82</b>

En la anterior tabla se puede observar un valor promedio de error obtenido de las mediciones realizadas en las pruebas con un variador de frecuencia Micromaster 440 usando los dispositivos Fluke 434 y Sentron Pac\_3200, se usa como referencia el analizador Fluke 434 obtenido un error promedio de 3,82% demostrando de esta manera que el sistema implementado es confiable.

En la tabla 34 se obtienen datos de variables eléctricas: factor de potencia, corriente y THD en un conversor AC/DC controlado usando el analizador Fluke 434 y el medidor Sentron Pac\_3200.

**Tabla 34**

*Cálculo de error en el conversor AC/DC controlado con motor DC bajo carga*

<b>MAGNITUDES</b>					
<b>Equipos</b>	<b>THD-R</b>	<b>FP</b>	<b>CORRIENTE</b>	<b>FP</b>	<b>IL1</b>
	<b>CORRIENTE</b>				
<b>Sentron</b>	27	0,74	1,22	0,54	2,06
<b>Pac_3200</b>					
<b>Fluke 434</b>	28	0,72	1,2	0,54	2,1
	<b>ERROR (%)</b>				
	3,5	2,75	1,6	0	1,9

En la tabla anterior se realiza un análisis del error cuando el sistema está funcionando con un conversor trifásico AC/DC controlado usando los datos obtenidos por los

analizadores de energía antes mencionados, siendo referencia los valores del analizador Fluke 434. Se obtiene los siguientes resultados: 2.75% para el factor de potencia, 1,6% para la corriente y 3,5% para el THD de corriente. De esta forma se puede ratificar que el sistema implementado con los módulos didácticos es confiable, con un error promedio de 2,61%.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- Se diseñó e implementó un módulo didáctico con cuatro centrales de medida Sentron PAC\_3200 y una interfaz gráfica de tipo industrial, para el monitoreo de la energía eléctrica en cada una de las estaciones de trabajo obteniendo reportes en una base de datos en formato .csv compatible con Excel.
- Para el monitoreo del sistema se utilizó un controlador lógico programable Siemens 1214 AC/DC/RLY enlazando a las centrales de medida de cada estación mediante una red de comunicación en estrella que se encarga de transmitir los datos de las variables eléctricas a un PC\_System HMI.
- Con el uso de PC\_System HMI se logró la creación de pantallas con interfaces amigables al usuario que consta de 14 imágenes para el PC\_ MAESTRO y 5 imágenes por cada una de las PC\_ESTACIÓN siendo un total de 34 imágenes del sistema, ayudando a la visualización de variables como: voltajes de fase, corrientes de línea, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva, potencias totales, THD\_R de voltaje, THD\_R de corriente, frecuencia y factor de potencia; y generando curvas de potencias, voltajes de línea, THD\_R de corriente.

- De acuerdo a la comparación de datos obtenidos con las centrales de medida Sentron PAC\_3200 frente al analizador Fluke 434 se determina un error aproximado del 2.61% en las mediciones, de esta manera se comprueba que el sistema es confiable ante cualquier aplicación.
- Cada una de las centrales de medida están implementadas de tal forma que permiten trabajar de modo individual sin conexión a red y con acceso a ella y de igual manera integrando las cuatro estaciones de trabajo.

## 6.2. Recomendaciones

- Para realizar las mediciones en las centrales de medida es recomendable revisar el tipo de conexión que se va utilizar, rango de medición de los TC's, y verificar si se encuentra con la IP correcta para tener una comunicación fluida con el controlador.
- Para realizar las mediciones sin TC's la relación de transformación es de 5A en el primario y 5A en el secundario, si requiere medir variables eléctricas industriales de más potencia es necesario implementar TC's de corriente a cada central de medida.
- Cada uno de los módulos Sentron Pac\_3200 tienen una salida digital, se recomienda emplearla en: activación de alarmas sonoras y visuales, desconexión de la carga, etc.
- Para el reseteo de las centrales de medida en caso de ser necesario tomar en cuenta que el parámetro de la dirección IP no debe ser seleccionado. Si se llegara a originar un reseteo general será necesario asignar nuevamente la dirección IP correspondiente a la central de medida.



- Para la realización de las prácticas a través del sistema con los módulos didácticos implementados, se recomienda leer las guías de las prácticas que se anexan en este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB. (2017). *Elektronek*. Recuperado el 02 de 08 de 2019, de <http://elektronek.com.tr/hizmetlerimiz/tamir/acs-300-292>
- ABB. (2019). *Asea Brown Boveri Ltd*. Recuperado el 22 de 08 de 2019, de <https://new.abb.com/drives/es/industrias-aplicaciones>
- Aguinsaca, J. F., & Miranda, C. L. (2015). *Modelamiento y monitoreo del sistema eléctrico de la cámara de transformación CT2 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L empleando el software ETAP (Tesis de pregrado)*. Recuperado el 02 de 09 de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9924/1/T-ESPEL-EMI-0279.pdf>
- Allen-Bradley. (2015). *Variadores de CA de bajo voltaje PowerFlex*. Recuperado el 24 de 09 de 2019, de [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/pflex-br008\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/pflex-br008_-es-p.pdf)
- Allen-Bradley. (2019). Recuperado el 12 de 08 de 2019, de <https://ab.rockwellautomation.com/es/Drives/PowerFlex-70>
- Araya, L. (09 de 02 de 2011). *Laraya Ingeniería*. Recuperado el 26 de 09 de 2019, de <http://arayaingenieria.blogspot.com/2011/02/respuestas-sobre-variadores-de.html>
- Arcila, J. (2012). Armónicos en sistemas eléctricos. *IEB S.A*, 4. Recuperado el 02 de 10 de 2019
- Arciniega, M. (01 de 2018). *dspace.ups.edu.ec*. Recuperado el 06 de 10 de 2019, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14985/4/UPS-KT01460.pdf>

- Barandica, A. (2015). *Dialnet*. Recuperado el 12 de 10 de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5290926>
- Benavides, S. (2018). Desarrollo de un variador de velocidad trifásico: enfoque de programación multitarea. *Ingeniare*, 2-3.
- Brugnoni, M. (2012). Efectos de la contaminación armónica en instalaciones con compensación de potencia reactiva. Buenos Aires, Argentina.
- Caiza, C. (2010). CONTROL DE MOTORES DC. *REVISTA UNIVERSITARIA*, 1-3.
- Cárcel, F. (2015). *Dialnet*. Recuperado el 14 de 09 de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5013488>
- Chancusig, D. (2009). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONVERTOR AC/DC CONTROLADO*. Latacunga.
- Chinchilla, M. (2012). *lideplayer.es*. Recuperado el 12 de 07 de 2019, de <https://slideplayer.es/slide/6137780/>
- Contreras, J. P. (2005). Modulación por ancho de pulso(PWM) y modulación vectorial(SVM). Una introducción a lastécnicas de modulación. *El hombre y la máquina*, 70-81.
- EATON. (2019). *Moeller*. Recuperado el 8 de 11 de 2019, de [http://www.moeller.es/productos\\_soluciones/productos/control-y-visualizacion/plc-modular-xc.html](http://www.moeller.es/productos_soluciones/productos/control-y-visualizacion/plc-modular-xc.html)
- Falconi, L. G. (2014). *ciecfie*. Recuperado el 6 de 08 de 2019, de <http://ciecfie.epn.edu.ec/wss/VirtualDirectories/80/JIEE/historial/XXV/Control/Memorias-149-153.pdf>

- Flores, G. E. (2017). *Repository UAEH*. Recuperado el 12 de 09 de 2019, de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/investigium/article/view/2428/2436>
- Friedrich, G. (2009). Un modelo para el análisis de la confiabilidad de Ethernet industrial en topología de anillo. *RIAI*, 102-109.
- Gallego, J. (2014). Análisis de Flujos de Potencias Ineficientes Producidos por Convertidores de Potencia. *Información tecnológica*, 3-4.
- Gómez, A. A. (2016). Prototipo para la compensación de armónicos en sistemas trifásicos. *Tecnura*, 96-105.
- Grajales, J. (2003). Efecto de los armónicos en los motores de inducción. *Revista Facultad de Ingeniería N 31*, 117.
- Heras, S. (Julio de 2015). *Construcción de un PLC mediante un dispositivo de bajo coste*. Recuperado el 17 de 10 de 2019, de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/809/Construccion+de+un+PLC+mediante+un+dispositivo+de+bajo+coste.pdf?sequence=1>
- Ingeniería, S. (2012). *Reitec*. Recuperado el 16 de 07 de 2019, de <http://www.reitec.es/Pdf/documentacion3.pdf>
- Jiménez, E. (2007). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 19 de 08 de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4415/1/T-ESPEL-0085.pdf>
- Katzn, A. (26 de enero de 2017). Recuperado el 2 de 10 de 2019, de <https://www.seencogroup.com/distorsion-armonica-total-que-paso-con-mi-onda-perfecta>

- León, M. (2015). Motores de corriente alterna sincronos y corriente directa. *Pistas educativas No. 111* .
- Lizcano, A. (2011). Minimización de la distorsión armónica de una. *Itckne*, 79-86.
- Mogrovejo, J. (2014). *Tecnoing.com*. Recuperado el 01 de 12 de 2019, de [http://www.tecnoing.com/p\\_comunicacion.aspx](http://www.tecnoing.com/p_comunicacion.aspx)
- Molina, N. (2016). *Controlador lógico programable para soluciones de automatización y control en la pequeña y mediana empresa*.
- Montoya, F. (08 de 03 de 2012). *Scielo*. Recuperado el 22 de 09 de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v79n173/a08v79n173.pdf>
- Morales, R. (2002). *ResearchGate*. Recuperado el 16 de 07 de 2019, de [https://www.researchgate.net/publication/286321722\\_Analisisde\\_Armonicos\\_de\\_Voltaje\\_de\\_un\\_Control\\_VF\\_en\\_Lazo\\_Abierto\\_de\\_Velocidad](https://www.researchgate.net/publication/286321722_Analisisde_Armonicos_de_Voltaje_de_un_Control_VF_en_Lazo_Abierto_de_Velocidad)
- Murillo, L. (2018). Detección de fallas en motores eléctricos con base en índices de potencias y redes neuronales. *Tecnología en Marcha vol.31*, 81-97.
- Pérez, M. (2016). <http://profesores.elo.utfsm.cl>. Recuperado el 16 de 10 de 2019, de [http://profesores.elo.utfsm.cl/~mpl/wp-content/uploads/2016/11/elo381\\_capitulo\\_07\\_Control\\_de\\_convertidores\\_v1.pdf](http://profesores.elo.utfsm.cl/~mpl/wp-content/uploads/2016/11/elo381_capitulo_07_Control_de_convertidores_v1.pdf)
- Pulido, O. (2013). *Motores en corriente alterna*. Recuperado el 21 de 07 de 2019, de [https://www.academia.edu/20964783/MOTOR\\_DE\\_CORRIENTE\\_ALTERNA](https://www.academia.edu/20964783/MOTOR_DE_CORRIENTE_ALTERNA)
- Reitec. (2012). *Reitec*. Recuperado el 25 de 08 de 2019, de <http://www.reitec.es/Pdf/documentacion3.pdf>
- Salicru. (2018). Eficiencia y ahorro energético. Shenzhen, China.

- Schneider. (2013). *Schneider Electric*. Recuperado el 14 de 09 de 2019, de [https://www.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER\\_ELECTRIC/content/live/FAQS/294000/FA294809/es\\_ES/Guia%20de%20Usuario%20PM5100\\_PM5110\\_PM5111\\_ES.pdf](https://www.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/294000/FA294809/es_ES/Guia%20de%20Usuario%20PM5100_PM5110_PM5111_ES.pdf)
- Schneider. (2015). *Schneider Electric*. Recuperado el 7 de 10 de 2019, de [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=DIA2ED2130101EN+%28web%29.pdf&p\\_Doc\\_Ref=DIA2ED2130101EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=DIA2ED2130101EN+%28web%29.pdf&p_Doc_Ref=DIA2ED2130101EN)
- Schneider. (2018). *Schneider Electric*. Recuperado el 15 de 11 de 2019, de <https://www.se.com/cl/es/product-range/62128-logic-controller---modicon-m221/>
- Sevilla, M. (2019). *Contaval*. Recuperado el 12 de 07 de 2019, de <https://www.contaval.es/tag/dc/>
- Siemens. (2005). Recuperado el 16 de 11 de 2019, de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/842/21741842/att\\_48259/v1/440\\_OPI\\_21741842\\_sp\\_0705.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/842/21741842/att_48259/v1/440_OPI_21741842_sp_0705.pdf)
- Siemens. (2008). Power Monitoring Device Manual. 128.
- SIEMENS. (2010). *SIEMENS*. Recuperado el 8 de 10 de 2019, de <https://docplayer.es/46409290-Sentron-multimetro-sentron-pac4200-introduccion-1-consignas-de-seguridad-2-descripcion-3-uso-practico-4-montaje-5-conexion.html>
- Siemens. (2014). *Comunicación de datos entre un S7-1200 y un SENTRON PAC3200 a través de MODBUS TCP (Set 22)*.

Siemens. (2019). *Data Sheet 3SU1950-0GB80-0AA0*.

Siemens. (2019). *Siemens*. Recuperado el 10 de 08 de 2019, de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/893/14346893/att.../440\\_OPI\\_sp\\_1202.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/893/14346893/att.../440_OPI_sp_1202.pdf)

Silva, F. (2016). *DISEÑO E IPLEMENTACION DE UN CONVERTOR AC/DC SEMICONTROLADO DE ONDA COMPLETA PARA EL CONTROL DE POTENCIA ENTREGADA A DIFERENTES TIPOS DE CARGAS (R, L, RL, RLE)*. Latacunga.

TEGNOLOGIES, T.-L. (2016). TP-LINK 16/24 PORT GIGABITES RACKMOUNT SWITCH.

Tolosa, G. (2002). *tyr.unlu.edu.ar*. Recuperado el 22 de 07 de 2019, de <http://www.tyr.unlu.edu.ar/pub/02-ProtocolosOSI.pdf>

TP-LINK. (2017). *User Guide TL-MR3420*.

Villacrés, J. (Julio de 2015). *Repositorio UTA*. Recuperado el 01 de 12 de 2019, de [http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15034/1/Tesis\\_t1060si.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15034/1/Tesis_t1060si.pdf)

Yassack. (10 de 12 de 2011). *CC BY*. Recuperado el 13 de 09 de 2019, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Rectificador\\_trif%C3%A1sico#/media/File:Rect\\_Trifasico\\_contr.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Rectificador_trif%C3%A1sico#/media/File:Rect_Trifasico_contr.jpg)

# ANEXOS





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

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue realizador por los señores: **BELTRÁN GALLO CRISTIAN PAUL Y CAMPOS LLERENA DARÍO JAVIER.**

En la ciudad de Latacunga a los 20 días del mes de enero del 2020.

Aprobado por:

Ing. Mario Jiménez

DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Freddy Salazar

DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Rodrigo Vaca

SECRETARIO ACADÉMICO