



# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

SEDE GUAYAQUIL

## **CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

### **PROYECTO DE TITULACIÓN**

Previa la obtención del Título de:

### **INGENIERO ELÉCTRICO**

#### **TEMA**

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN MOTOR MONOFÁSICO DE ARRANQUE  
POR CAPACITOR PERMANENTE.

#### **AUTORES**

Víctor Miguel Llerena Merchán  
Nangel Alberto Criollo Mina.

TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN:

MSc. Marcos Efraín Millán Traverso

GUAYAQUIL

2019

## **CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TIULACIÓN**

Nosotros, VICTOR MIGUEL LLERENA MERCHÁN y NANGEL ALBERTO CRIOLLO MINA autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, Octubre 2019

---

Víctor Miguel Llerena Merchán

0950926600

---

Nangel Alberto Criollo Mina

0930649371

## **CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **VICTOR LLERENA MERCHÁN**, con documento de identificación N° **0950926600**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN MOTOR MONOFÁSICO DE ARRANQUE POR CAPACITOR PERMANENTE**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Octubre 2019

---

Víctor Miguel Llerena Merchán

0950926600

## **CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **NANGEL ALBERTO CRIOLLO MINA**, con documento de identificación N° **0930649371**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN MOTOR MONOFÁSICO DE ARRANQUE POR CAPACITOR PERMANENTE**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Octubre 2019

---

Nangel Alberto Criollo Mina

0930649371

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR DE PROYECTO DE  
TITULACIÓN**

Yo, **MARCOS EFRAÍN MILLÁN TRAVERSO**, tutor del proyecto de Titulación denominado “**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN MOTOR MONOFÁSICO DE ARRANQUE POR CAPACITOR PERMANENTE**” realizado por los estudiantes, **VICTOR MIGUEL LLERENA MERCHÁN** y **NANGEL ALBERTO CRIOLLO MINA**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, Octubre 2019

.....

Marcos Efraín Millán Traverso

MSc.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de titulación va dedicada para nuestras madres y familia en general en su incentivo hacia nosotros para obtener un título de tercer nivel con mucho empeño y dedicación apoyándonos en el profesionalismo de docentes y amigos que impartieron sus conocimientos en nosotros para en este momento plasmarlos en nuestro proyecto de titulación con el fin conquistar el tan anhelado objetivo, para encaminarnos en un mundo laboral diverso con múltiples retos por innovación tecnológica y técnica en su mayor proporción.

**Nangel Criollo Mina, Víctor Llerena Merchán**

Quiero dedicarle y darle las gracias a Dios por este trabajo, por darme las fuerzas necesarias para seguir cosechando éxitos en mí día a día.

En el presente proyecto de titulación le doy gracias a mi madre por ser mi guía y estar a mi lado en todo momento y a toda mi familia que me han guiado y aconsejado durante este proceso.

Quiero darle las gracias al Ing. Gary Ampuño por su dedicación y su gran colaboración y sus consejos en el presente trabajo de titulación.

**Víctor Llerena Merchán**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios por permitir que este objetivo se halla alcanzado y materializado, un día esperado por muchos años que al fin llegó, agradezco a mi madre y familia por estar en cada proceso de este logro y a mis amigos por el apoyo y el incentivo que me daban para no rendir, ni perder la fe.

Agradezco personalmente al Ing. Alexandro Rendon y el Sr Martin Robalino, Ing. Marcos Millán, Ing. Gary Ampuño por el apoyo brindado para la consolidación y ejecución de cada paso en este proyecto de titulación por los consejos personales y profesionales que llevaron a cabo la culminación de este uno de mis objetivos de vida.

**Nangel Criollo.**

## RESUMEN

**Tema:** ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN MOTOR MONOFÁSICO DE ARRANQUE POR CAPACITOR PERMANENTE.

**Autores:** Víctor Llerena Merchán, Nangel Criollo Mina

**Tutor de proyecto de titulación:** Marcos Efraín Millán Traverso, MSc.

**Palabras clave:** análisis, simulación, monofásico, módulo, simulación.

Este proyecto de titulación se realizó un análisis y la simulación de un motor monofásico de arranque por capacitor permanente mediante el software MATLAB® para obtener la información teórica. La información práctica se obtuvo mediante el analizador de redes PM5100 SCHNEIDER los datos que son tomados en consideración son los parámetros de corriente voltaje y velocidad del motor cuya conexión con el controlador lógico programable MODICON TM221CE16R SCHNEIDER que permite establecer conexión entre el ordenador portátil y el analizador de redes.

Se realizó la construcción de un módulo de pruebas para el análisis y simulación de un motor monofásico con capacitor permanente, en este proyecto de titulación además se demostró la operatividad de cada elemento mediante un sistema de encendido manual, del motor monofásico con capacitor permanente.

Para el control del motor se utilizó una programación en el programa SoMachine Basic versión 1.6 y su visualización en el WINCC RT Professional versión 14.0 de TIA PORTAL versión 14 del proceso y también de las variables asignadas.

## SUMMARY

Topic: ANALYSIS AND SIMULATION OF A SINGLE-PHASE STARTER MOTOR BY PERMANENT CAPACITOR.

**Authors:** Víctor Miguel Llerena Merchán, Nangel Alberto Criollo Mina  
**Thesis Advisor :** Marcos Efraín Millán Traverso, MSc.

Keywords: analysis, simulation, monophasic, module, simulation.

This degree project carried out an analysis and simulation of a single-phase starter motor per permanent capacitor using MATLAB® software to obtain the theoretical information. The practical information was obtained by mean of the PM5100 SCHNEIDER network analyzer, the data that are taken into consideration are the current and speed parameters of the motor whose connection with the programmable logic controller MODICON TM221CE16R SCHNEIDER that allows to establish connection between the laptop and the analyzer of net.

The construction of a test module for the analysis and simulation of a single-phase motor with permanent capacitor was carried out, in this degree project the operation of each element was also demonstrated through a manual ignition system, of the single-phase motor with permanent capacitor.

For the motor control, a program was used in the SoMachine Basic version 1.6 program and its display in the WINCC RT Professional version 14.0 of TIA PORTAL version 14 of the process and also of the assigned variables.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS .....	iii
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS .....	iv
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
RESUMEN .....	viii
SUMMARY .....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
ABREVIATURAS.....	xvi
SIMBOLOGÍA.....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
1. EL PROBLEMA .....	2
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Importancia y Alcances .....	2
1.3. Delimitación .....	3
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. Objetivo General .....	3
1.4.2. Objetivos Específicos .....	3
CAPÍTULO II .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	4
Estado del Arte.....	4
2.1. Motor con condensador permanente.....	4
2.2. Partes de un motor de inducción monofásico .....	4
2.2.1. Estator .....	4
2.2.2. Rotor.....	6
2.2.3. Capacitor tipo electrolítico. ....	6

2.3. Funcionamiento de un motor monofásico con capacitor permanente. ....	8
2.4. Características de motores con condensador .....	11
2.5. Adquisición de datos .....	11
2.6. Comunicación.....	12
2.6.1. PLC .....	12
2.6.2. Redes de comunicación .....	13
2.6.3. Protocolo de comunicación.....	14
CAPÍTULO III.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1. Diseño y construcción del módulo para el análisis y simulación de un motor monofásico con capacitor permanente.....	16
3.2. Diseño y construcción de la estructura metálica .....	16
3.3. Etapa de corte diseño y mediciones .....	16
3.3.1. Troquelado .....	17
3.4. Materiales.....	19
3.4.1. Dobladora.....	19
3.4.2. Soldadura.....	19
3.4.3. Pintado .....	19
3.5. Distribución y etiquetado de la parte frontal del módulo .....	19
3.5.1. Distribución interna del módulo .....	21
3.6. Dispositivos instalados .....	22
3.6.1. Datos técnicos del PLC.....	22
3.6.2. Pulsadores .....	24
3.6.3. Selectores .....	25
3.6.4. Fuente de voltaje .....	25
3.6.5. Fuente reguladora de voltaje.....	25
3.6.6. Fusible.....	26
CAPÍTULO IV.....	28
4. ANÁLISIS DEL MOTOR MONOFÁSICO CON CAPACITOR PERMANENTE.....	28
CONCLUSIONES .....	75
RECOMENDACIONES .....	75
BIBLIOGRAFÍA .....	76
ANEXOS .....	77
ANEXO 1. MEDICIONES Y PUESTA EN MARCHA DE LA PRÁCTICA .....	77
ANEXO 2. RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS. ...	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MOTOR MONOFÁSICO [1].	4
FIGURA 2. MOTOR DE INDUCCIÓN MONOFÁSICO, ESTATOR A) Y ROTOR B) [1].	5
FIGURA 3. CAPACITOR ELECTROLÍTICO [3].	8
FIGURA 4. MOTOR DE INDUCCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE CONDENSADOR: (A) DIAGRAMA ESQUEMÁTICO Y (B) CARACTERÍSTICA TÍPICA DE PAR / VELOCIDAD [4].	9
FIGURA 5. SISTEMA DAQ-PC	12
FIGURA 6. ESQUEMA DEL PROTOCOLO MODBUS TCP/IP	14
FIGURA 7. ESQUEMA DEL PROTOCOLO MODBUS SERIAL	15
FIGURA 8. PLANOS PARA LAS ENTRADAS ANALÓGICAS , ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES	17
FIGURA 9. DIAGRAMA PARA CORTE DEL MÓDULO DE PRUEBAS	18
FIGURA 10. MÓDULO DE PRUEBAS TERMINADO	20
FIGURA 11. CABLEDO INTERNO DEL MÓDULO DE PRUEBAS	21
FIGURA 12. LUCES PILOTO QUE REPRESENTAN LAS ENTRADAS DIGITALES	25
FIGURA 13. SELECTORES QUE REPRESENTAN ENTRADAS DIGITALES	25
FIGURA 14. CIRCUITO IMPRESO ELABORADO POR LOS AUTORES	26
FIGURA 15. CONEXIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO	26
FIGURA 16. IMÁGEN DE FUSIBLE F500	27
FIGURA 17. ESQUEMA DE PROCESO DE COMUNICACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS DEL ANALIZADOR DE REDES PM5100 SCHNEIDER.	28
FIGURA 18. COMUNICACIÓN ENTRE EL ORDENADOR PORTÁTIL Y EL ANALIZADOR DE REDES PM5100 SCHNEIDER.	29
FIGURA 19. INICIALIZACIÓN DEL PROGRAMA SOMACHINE BASIC	29
FIGURA 20. CREACIÓN DE PROYECTO SOMACHINE BASIC V 1.6	30
FIGURA 21. CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVO DEL MÓDULO DE PRÁCTICAS	31
FIGURA 22. CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO TM221CE16R	32
FIGURA 23. CONFIGURACIÓN DE DIRECCIÓN IP	33
FIGURA 24. APLICACIÓN DE DIRECCIÓN IP DEL DISPOSITIVO	34
FIGURA 25. SÍMBOLO DEL SISTEMA CMD PARA DIRECCIÓN IP DE LA COMPUTADORA	35
FIGURA 26. VERIFICACIÓN DE CONEXIÓN DE DISPOSITIVO	35
FIGURA 27. INICIO DE SESIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL PROGRAMA	36
FIGURA 28. AÑADIENDO FILAS DE PROGRAMACIÓN PARA EL PROCESO SOMACHINE BASIC	39
FIGURA 29. AÑADIENDO BLOQUE DE FUNCIONES READ_VAR	40
FIGURA 30. AÑADIENDO TEMPORIZADORES	41
FIGURA 31. CREACIÓN DE NUEVO PROYECTO EN TIA PORTAL V.14.	42
FIGURA 32. ASIGNACIÓN DE NOMBRE Y LUGAR PARA GUARDAR EL PROYECTO	43
FIGURA 33. CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS	44
FIGURA 34. SELECCIÓN Y AÑADIR DISPOSITIVOS	45
FIGURA 35. SELECCIÓN DE OPCIÓN SISTEMA DEL ORDENADOR PC SYSTEM.	45

FIGURA 36. SELECCIÓN DE PANTALLA GRÁFICA DE LA APLICACIÓN WINCC RT PROFESSIONAL VERSIÓN 14.0 .....	46
FIGURA 37. ASIGNACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS .....	47
FIGURA 38. TIPOS DE CONEXIONES .....	48
FIGURA 39. CONEXIÓN CON EL MODICON MODBUS TCP .....	49
FIGURA 40. OPCIONES PARA ASIGNACIÓN DE VARIABLES DE PROCESO. ....	50
FIGURA 41. ASIGNACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL. ....	51
FIGURA 42. VARIABLES PARA EL HISTORIAL DE DATOS .....	52
FIGURA 43. VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE SIN ENERGIZAR.....	53
FIGURA 44. VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE ENERGIZADO .....	54
FIGURA 45. DIAGRAMA DESCRIPTIVO DEL ANALIZADOR DE REDES PM5100 SCHNEIDER. ....	55
FIGURA 46. DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE.....	56
FIGURA 47. DIAGRAMA DE FUERZA DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS. .	57
FIGURA 48. CIRCUITO DEL DEVANADO PRINCIPAL.....	58
FIGURA 49. CIRCUITO DEL DEVANADO PRINCIPAL EN MATLAB® .....	60
FIGURA 50. CIRCUITO DEL DEVANADO AUXILIAR EN MATLAB® .....	61
FIGURA 51. SIMULACIÓN DE UN MOTOR MONOFÁSICO .....	63
FIGURA 52. GRÁFICOS DE LA VELOCIDAD DE GIRO DEL ROTOR EN LA PARTE SUPERIOR Y LA CORRIENTE TOTAL DEL MOTOR EN LA PARTE INFERIOR.....	64
FIGURA 53. GRÁFICOS DE LOS DATOS EN EL WINCC RT PROFESSIONAL VERSIÓN 14.0 DEL REGISTRO DEL ANALIZADOR DE RED PM5100 SCHNEIDER.....	66
FIGURA 54. GRÁFICAS DE CORRIENTES DEL DEVANDO PRINCIPAL Y AUXILIAR. 67	
FIGURA 55. GRÁFICO V VS I PARA UNA RESISTENCIA DE 5 $\Omega$ .....	70
FIGURA 56. GRÁFICO V VS I PARA UNA RESISTENCIA DE 9 $\Omega$ .....	72
FIGURA 57. GRÁFICO V VS I PARA UNA RESISTENCIA DE 15 $\Omega$ . ....	74
FIGURA 58. CONEXIÓN E INSTALACIÓN DEL SISTEMA. ....	77
FIGURA 59. CONEXIÓN DE PRUEBA DEL MOTOR MONOFÁSICO.....	78
FIGURA 60. PRUEBAS CON RESISTENCIAS AL MOTOR MONOFÁSICO CON CAPACITOR PERMANENTE.....	79
FIGURA 61. FUNCIONAMIENTO AÑADIENDO RESISTENCIA AL MOTOR MONOFÁSICO .....	79
FIGURA 63. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	80
FIGURA 63. DIAGRAMA DE CONEXIONES.....	81
FIGURA 64. INSTALACIÓN ORDENADOR CON EL MÓDULO DE PRUEBAS RELÉ AL BANCO DE PRUEBAS.....	82
FIGURA 65. INSTALACIÓN GENERAL DEL CIRCUITO.....	82
FIGURA 66. PUESTA EN MARCHA DEL PROCESO .....	83
FIGURA 67. ENCENDIDO DEL MÓDULO DE PRUEBAS .....	84
FIGURA 68. CONEXIÓN DE CABLE ETHERNET PARA ENLACE CON EL COMPUTADOR PORTÁTIL.....	85
FIGURA 69. ACOPLAMIENTO DE RELÉ AL SISTEMA.....	86
FIGURA 70. PARÁMETROS DE CORRIENTES Y VELOCIDAD DE GIRO EN RPM.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.FICHA TÉCNICA DEL MODBUS .....	24
TABLA 2. ASIGNACIÓN DE MEMORIAS .....	37
TABLA 3. ASIGNACIÓN DE ENTRADAS.....	38
TABLA 4. ASIGNACIÓN DE SALIDAS .....	38
TABLA 5. ASIGNACIÓN DE VARIABLES WORD.....	38
TABLA 6. ASIGNACIÓN DE VARIABLES DE LOS TEMPORIZADORES.....	38
TABLA 7. PRUEBAS DE MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MOTOR MONOFÁSICO .....	58
TABLA 8. ADQUISICIÓN DE DATOS DE PRUEBAS DE VALORES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS.....	68
TABLA 9. VALORES DE VOLTAJE, CORRIENTE Y REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) PARA LOS VALORES DEL SISTEMA PARA AÑADIENDO UNA RESISTENCIA EN SERIE de 5 $\Omega$ . .....	69
TABLA 10. VALORES DE VOLTAJE, CORRIENTE Y REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) PARA LOS VALORES DEL SISTEMA PARA AÑADIENDO UNA RESISTENCIA EN SERIE DE 9 $\Omega$ .....	71
TABLA 11. VALORES DE VOLTAJE, CORRIENTE Y REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) PARA LOS VALORES DEL SISTEMA PARA AÑADIENDO UNA RESISTENCIA EN SERIE de 15 $\Omega$ .....	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. MEDICIONES Y PUESTA EN MARCHA DE LA PRÁCTICA .....	77
ANEXO 2. RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	87

## ABREVIATURAS

CA	Corriente Alterna
Z	Impedancia
R	Resistencia
$\phi$	Flujo sinusoidal alterno
$\phi_1$ y $\phi_2$	flujos alternos giratorios
Ns	Velocidad síncrona
$\omega$	Velocidad angular
t	Tiempo
$Z_m$	Impedancia del devanado principal (trabajo).
$Z_a$	Impedancia del devanado auxiliar (arranque).
$R_m$	Resistencia del devanado principal (trabajo).
$R_a$	Resistencia del devanado auxiliar (arranque).
$X_m$	Reactancia del devanado principal (trabajo).
$X_a$	Reactancia del devanado auxiliar (arranque).
C	Capacitancia
$I_m$	Corriente en el devanado principal (trabajo).
$I_a$	Corriente en el devanado auxiliar (arranque).
$\theta_m$	Ángulo de la corriente en el devanado principal (trabajo).
$\theta_a$	Ángulo de la corriente en el devanado auxiliar (arranque).
a	Relación de vueltas de los devanados
$C_{start}$	Capacitor de arranque
$C_{run}$	Capacitor de funcionamiento
$T_{inicio}$	Par de arranque de un motor monofásico

## SIMBOLOGÍA

$s$	Segundos
$\Omega$	Ohmios
$\theta$	Matriz de Ángulo de corrientes
$^\circ$	Grados
$W$	Vatio
$\%$	Porcentaje

## INTRODUCCIÓN

En el presente documento se detalla todo lo relacionado al análisis y simulación de un motor monofásico de arranque por capacitor permanente. Para este proyecto de titulación se construirá un módulo estará equipado con un controlador lógico MODICON M221, TM221CE16R de la marca SCHNEIDER en el cual se podrá realizar el análisis y la simulación de un motor monofásico por capacitor permanente.

Los datos y la información recopilada de los análisis y simulaciones se emplean para el futuro aprendizaje y elaboración de prácticas técnicas los nuevos estudiantes serán los principales beneficiarios de este proyecto de titulación.

En la fase de simulación se realizaron los diagramas de conexiones que facilitaron la comprensión del funcionamiento del motor.

Para el análisis de los principios de funcionamiento de los motores monofásicos, se revisaron textos técnicos como guía para reforzar conocimientos adquiridos sobre las máquinas eléctricas.

Los datos que presentan el análisis de motor con capacitor permanente son previamente establecidos mediante el cálculo ordinario.

Los valores nominales de los parámetros son escogidos como valores elementales que se establecen en la placa del motor y permite utilizarlo en la resolución analítica.

# CAPÍTULO I

## 1. EL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del Problema

El laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, no dispone de módulos actualizados de simulación para motores monofásicos. Esto limita las habilidades de los estudiantes para relacionar valores teóricos y realizar diseños comparando mediciones reales de los parámetros eléctricos vistos en clase y con resultados realizados en el simulador.

Por esta razón se ha propuesto para los laboratorios que se utilizan para la carrera de Ingeniería Eléctrica el diseño y construcción de un módulo de pruebas para aportar en el crecimiento teórico y práctico de los motores monofásicos con capacitor permanente.

### 1.2. Importancia y Alcances

Con la implementación de este proyecto de titulación se podrá contribuir en aspectos importantes a la comunidad estudiantil salesiana.

Mejoramiento y actualización de los equipos de automatización con el fin que tanto como maestros y estudiantes estén familiarizados con los equipos que verán en las diferentes industrias.

Diseño y construcción del proyecto de titulación se aporta con un controlador lógico MODICON M221, TM221CE16R de la marca SCHNEIDER para poder demostrar el correcto análisis y simulación. Se agregará un estudio técnico que aporte a la mejor comprensión del proyecto de titulación.

### **1.3. Delimitación**

En este proyecto de titulación se estima su completa finalización tanto la parte de construcción como diseño y programación es de 7 meses.

Para el diseño, ensamblaje del respectivo proyecto de titulación se disponen de los laboratorios de (motores, generadores) de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil en el cual se tendrá total acceso a los materiales físicos e informáticos, instrumentos eléctricos que se usarán para las respectivas pruebas técnicas.

El proyecto de análisis y simulación de un motor con capacitor permanente permite conocer la forma de trabajar de un motor bajo estas circunstancias el módulo didáctico elaborado se basa en conocimientos técnicos de que se ha adquirido a lo largo de la formación universitaria.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

- Analizar y simular un motor monofásico con capacitor permanente que en el cual se usará un instrumento virtual para visualizar gráficas de datos, voltaje y corriente del motor.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar la programación en la cual se realizarán las pruebas para el motor monofásico de arranque por capacitor permanente.
- Evaluar y verificar el correcto funcionamiento del análisis y simulación del motor.
- Estudiar el análisis y la simulación de un motor monofásico.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### Estado del Arte.

#### 2.1. Motor con condensador permanente

El motor que utiliza el motor con condensador permanentes es un motor de inducción monofásico es muy similar a un motor de inducción trifásico de jaula de ardilla en construcción [1]. La imagen gráfica referencia las partes físicas de un motor de inducción monofásico se muestra en la figura 1.

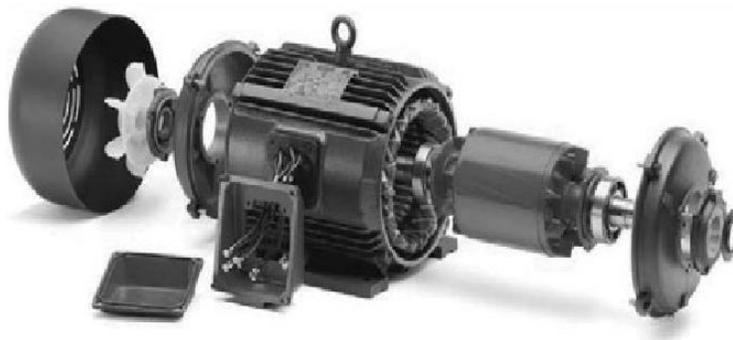


FIGURA 1. MOTOR MONOFÁSICO [1].

Similar al motor de inducción trifásico, consta de dos partes principales que son el estator y el rotor.

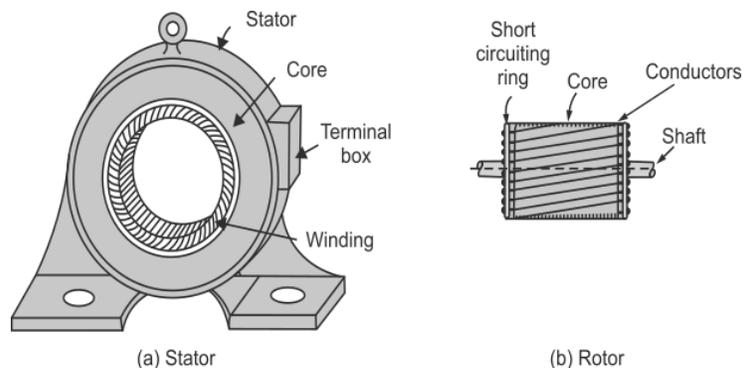
#### 2.2. Partes de un motor de inducción monofásico

##### 2.2.1. Estator

Es la parte estacionaria del motor. Tiene tres partes principales que son:

- Marco exterior.
- Núcleo del estator.
- Devanado del estator.

Marco exterior: Es el cuerpo exterior o carcasa del motor. Su función principal es soportar el núcleo del estator y para la protección interna de la máquina. Por lo general, está hecho de hierro para colocar el motor en la base, se proporcionan pies en el marco exterior como se muestra en la figura. 2 (a).



**FIGURA 2.** MOTOR DE INDUCCIÓN MONOFÁSICO, ESTATOR A) Y ROTOR B) [1].

Núcleo del estator: El núcleo del estator debe transportar el campo magnético alterno que produce histéresis y pérdidas por corrientes parásitas. Para minimizar estas pérdidas, que son usadas para construir el núcleo de acero al silicio de alto grado. Las láminas se ensamblan bajo presión hidráulica, y están codificados para el marco exterior. Las láminas están aisladas entre sí por una delgada capa de barniz, el grosor de las láminas generalmente varía de 0.3 a 0.5 mm. La periferia del interior de las láminas perforadas para acomodar el devanado del estator.

Devanado del estator: el núcleo del estator lleva un devanado monofásico que generalmente se suministra desde un sistema de suministro de CA monofásico. Los terminales del devanado están conectados en la caja de bornes de la máquina. El estator del motor está enrollado para un número definido de polos, según la necesidad de velocidad.

### **2.2.2. Rotor**

Es la parte giratoria del motor y se utiliza un rotor de jaula de ardilla en la inducción monofásica motores. Consiste en un núcleo cilíndrico laminado de algún material magnético de alta calidad semicerrado. Las ranuras circulares se perforan en la periferia exterior. Conductores de barra de aluminio se colocan en estas ranuras y cortocircuitos en cada extremo por anillos de aluminio, llamados anillos de cortocircuito, como se muestra en la figura 2 b. Por lo tanto, el devanado del rotor está permanentemente en cortocircuito.

Las ranuras del rotor generalmente no son paralelas al eje, sino que están sesgadas. La inclinación del rotor tiene las siguientes ventajas:

- (a) Reduce el zumbido asegurando así el funcionamiento silencioso de un motor.
- (b) Resulta en curvas de torque más suaves para diferentes posiciones del rotor.
- (c) Reduce el bloqueo magnético del estator y el rotor.
- (d) Aumenta la resistencia del rotor debido a la mayor longitud de los conductores de la barra del rotor.

Las otras partes misceláneas de un motor de inducción monofásico son eje, cojinetes, anillos finales, ventilador pernos de tuerca, etc. como se muestra en la vista desmontada del motor (ver Figura 1.).

### **2.2.3. Capacitor tipo electrolítico.**

Si toma dos placas conductoras paralelas con carga opuesta separadas una pequeña distancia aparte de un aislante, como aire o un dieléctrico como cerámica, se llama un condensador. Ahora, si aplica un voltaje a través de las placas del condensador que usa una batería ocurre algo interesante. Los electrones son bombeados por el terminal negativo de la batería y se acumulan en la placa inferior, mientras

los electrones se extraen de la placa superior hacia el terminal positivo de la batería. los

la placa superior se vuelve deficiente en electrones, mientras que la placa inferior se vuelve abundante en electrones muy rápidamente, la placa superior alcanza una carga positiva + Q

y la placa negativa alcanza una carga negativa  $-Q$ . Acompañando la carga es un campo eléctrico resultante entre las placas y un voltaje igual al voltaje de la batería.

Lo importante a tener en cuenta con nuestro condensador es que cuando retiramos la fuente de voltaje (batería), carga, campo eléctrico y voltaje correspondiente (actualmente igual al voltaje de la batería) permanecen. Idealmente, este estado de carga se mantendrá indefinidamente. Incluso conectando una conexión a tierra a una de las placas:

No importa cuál, no descargará el sistema. Por ejemplo, adjuntando la conexión a tierra del terminal negativo no causa que los electrones dentro de esa placa escape a la tierra donde se supone una carga neutral.

Puede parecer que a la abundancia de electrones le gustaría escapar a la tierra, ya que está en un potencial más bajo (neutral). Sin embargo, el campo eléctrico que existe es la naturaleza aislante imperfecta del gas o dieléctrico que se coloca entre las placas.

Esto se conoce como corriente de fuga y, dependiendo de la construcción del condensador, puede descargar un condensador en tan solo unos segundos a varias horas, si se elimina el voltaje de la fuente.

Para descargar rápidamente un condensador, puede unir las dos placas juntas con un cable, lo que crea una ruta conductora para que los electrones de la placa negativa fluyan hacia la placa positiva, neutralizando así el sistema. Esta forma de descarga ocurre casi instantáneamente.

La relación de carga en una de las placas de un condensador con el voltaje que existe entre las placas se llama capacitancia.



**FIGURA 3.** CAPACITOR ELECTROLÍTICO [3].

### **2.3. Funcionamiento de un motor monofásico con capacitor permanente.**

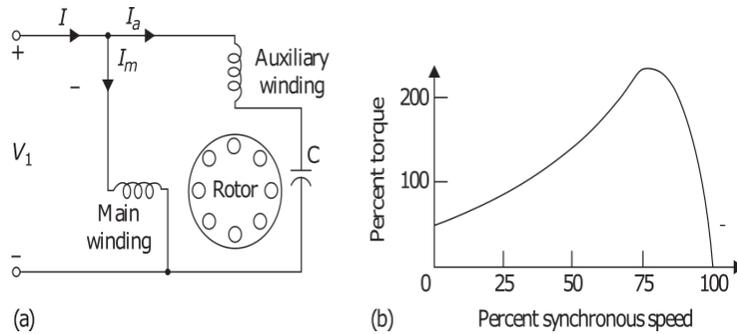
Los motores de condensador de división permanente ofrecen muchos beneficios. Su rendimiento de carrera y velocidad pueden ser adaptados a las necesidades específicas, y pueden ser diseñado para una eficiencia óptima y alta potencia, factor a la carga nominal. Como no necesitan salida el mecanismo se pueden revertir fácilmente. Finalmente, son los motores monofásicos más fiables. Estas ventajas son la razón por la cual se utiliza motores monofásicos con capacitor permanente como estándar para todas las aplicaciones hasta 2,2 kW, dos polos y 1,5 kW cuatro polos. Los motores de condensador de división permanente se pueden utilizar para muchas aplicaciones diferentes, dependiendo de su diseño. Cargas de baja inercia como ventiladores y bombas. Sería un ejemplo común [4].

El motor de condensador permanente también se denomina motor de condensador dividido simplemente, porque está diseñado para funcionar con su bobinado auxiliar y su serie.

Condensador conectado permanentemente, como se muestra en la Figura 4a. Es más simple que el arranque del condensador. Motor ya que no hay necesidad de ningún interruptor centrífugo. Su par, eficiencia y factor de potencia son también mejor, ya que el motor funciona efectivamente como un motor de dos fases.

En este motor, el valor del condensador se basa en su funcionamiento óptimo en lugar de su arranque característica. Dado que al inicio la corriente en la rama capacitiva es muy baja, el

motor del condensador tiene un par de arranque muy bajo como se muestra en la Figura 4b. La operación reversible no solo es posible, pero también más fácil de hacer que en otros motores. Su velocidad puede ser controlada variando su estator o voltaje utilizando varios métodos.



**FIGURA 4.** MOTOR DE INDUCCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE CONDENSADOR: (A) DIAGRAMA ESQUEMÁTICO Y (B) CARACTERÍSTICA TÍPICA DE PAR / VELOCIDAD [4]

Los motores de funcionamiento por condensador se usan para ventiladores, acondicionadores de aire y refrigeradores. Desde el inicio, el deslizamiento  $s$  es unitario donde  $R_f$  no es igual  $R_b$ , el par de arranque de un motor de inducción con funcionamiento de capacitor se determina a partir de la relación de vueltas de los devanados principal y auxiliar y  $\theta_a$  y  $\theta_m$  son la impedancia y ángulos de los devanados auxiliares y principales, respectivamente [5].

$$T_{inicio} = \frac{2aI_a I_m (R_f + R_b)}{\omega s} \sin (\theta_a + \theta_m) \quad (1)$$

$$T_{inicio} = K I_a I_m \sin \alpha \quad (2)$$

$I_a$  Corriente en el devanado auxiliar (arranque).

$I_m$  Corriente en el devanado principal (trabajo).

$\theta_m$  Ángulo de la corriente en el devanado principal (trabajo).

$\theta_a$  Ángulo de la corriente en devanado auxiliar (arranque).

$R_b$  Resistencia del devanado auxiliar.

$R_f$  Resistencia del devanado principal.

$a$  Relación de vueltas de los devanados.

$K$  Constante.

$\omega$  Velocidad angular.

$s$  Deslizamiento.

El motor produce un par de arranque elevado si se utiliza un condensador de arranque CA y un condensador de servicio. Mediante la capacidad de ambos condensadores se puede incrementar el par de arranque hasta un valor que sea 2 a 3 veces superior al par nominal [6].

Los motores con condensador permanente se conectan con en el circuito durante el período de arranque como también en el de servicio. Su similitud concuerda con los motores con condensador de arranque excepto en los siguientes puntos:

- El condensador y el arrollamiento de arranque se hallan conectados permanentemente en el circuito.
- El condensador es generalmente del tipo con impregnación de aceite.
- No requiere ningún interruptor centrífugo u otro mecanismo para su desconexión.

Estos motores tienen una marcha suave y silenciosa y suministran un par bajo. Según su fabricación hay diversos tipos, entre los cuales se mencionan los que poseen las siguientes características:

- Una sola tensión de servicio, con dos terminales al exterior.

- Dos tensiones de servicios.
- Una sola tensión de servicio, con tres terminales al exterior para la inversión del sentido de giro.

#### **2.4. Características de motores con condensador**

Existen muchos tipos de motores con condensador o capacitor de arranque, de los cuales se mencionarán y describirán a continuación. Cada uno de ellos posee una conexión propia, característica de sus arrollamientos [7]. Algunos se diseñan para una sola tensión de servicio o una sola velocidad de régimen; otros son aptos para el cambio, para trabajar a dos tensiones de servicio distintas o dos velocidades de régimen diferentes.

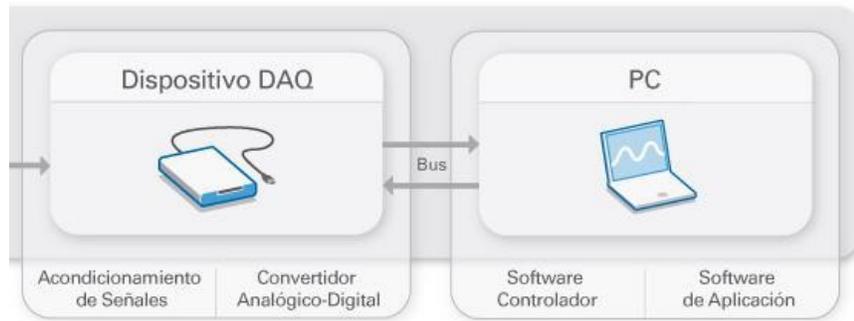
A continuación, mostraremos las diversas características:

- Una sola tensión de servicio, con sentido de giro reversible exteriormente.
- Una sola tensión de servicio, con sentido de giro irreversible.
- Una sola tensión de servicio, con sentido de giro reversible exteriormente y con protección térmica contra sobre cargas.

#### **2.5. Adquisición de datos**

En el proceso de Adquisición de datos (DAQ) podremos observar en nuestra PC un fenómeno eléctrico y físico con voltajes corrientes temperaturas y realizaremos un control con estas respectivas variables y así poder adquirir sus datos.

El sistema (DAQ) consta de un hardware y una PC con un software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicional los sistemas (DAQ) que usan una PC optimizan la potencia del procesamiento, su productividad, visualización y mejora la conectividad de los computadores básicos que encontramos en la industria dando una mejor solución mediante más potencia flexible y rentable.



**FIGURA 5. SISTEMA DAQ-PC**

**FUENTE:** [8]

## **2.6. Comunicación**

### **2.6.1. PLC**

El PLC (Controlador Lógico Programable) es el cerebro que activa las diferentes funciones de una o varias máquinas que ejecutan múltiples funciones que son de gran ayuda para el ser humano.

En la actualidad los PLC (Controlador Lógico Programable) son los más usados en las industrias ya que brindan un sin fin de beneficios en la automatización de los procesos industriales. Estos equipos trabajan mediante señales analógicas o binarias en sus respectivas entradas enviadas a sus: sensores, actuadores, interruptores y luces piloto la información que es recibida directamente del campo es procesada mediante la programación directa del PLC (Controlador Lógico Programable) y mediante ello podemos tener 1 o varias salidas.

Con la ayuda los PLC (Controlador Lógico Programable) las industrias han ahorrado altas sumas de dinero, han resuelto sus problemas técnicos y operativos y han evitado operaciones riesgosas que son perjudiciales para sus trabajadores. Las ventajas más evidentes es mejorar la vida útil de sus equipos y maquinarias incrementando las velocidades de producción y así poder lograr la maximización de sus materias primas y así elevando el valor para lograr tener un producto que cumpla todos los estándares técnicos y sociales.

Para la construcción del módulo se utiliza controlador lógico MODICON M221, TM221CE16R de la marca SCHNEIDER. El programa a utilizar en el PLC es SoMachine Basic V1.6 que es un software gratuito creado específicamente para programar el controlador lógico M221 TM221CE16R de la marca SCHNEIDER.

Los lenguajes de programación Ladder (escalera) y de la lista instrucciones son compatibles con el software. SoMachine Basic V1.6 es un software con licencia que se usa para programar una amplia gama de controladores como el M241, M251, M238, M258, LMC058, LMC078 sí como los HMI. Es compatible con todos los lenguajes de programación IEC61131-3.

El tipo de lenguaje que utiliza el SoMachine Basic V1.6 se configura y se programa con el software SoMachine Basic V1.6 es compatible con los siguientes IEC61131-3.

- IL: Lista de instrucciones
- LD: Diagrama de contactos
- Grafcet (lista) Grafo funcional de control por etapas y transiciones
- Grafcet (SFC) Tabla de funciones secuenciales

### **2.6.2. Redes de comunicación**

Las redes de comunicación van a estar formadas por un conjunto de dispositivos inteligentes que comparten sus muchos recursos y estos van a depender de su seguridad o la necesidad que requiera el sistema, estos dispositivos pueden trabajar de distintas maneras y estos a la vez forman una topología en red que son:

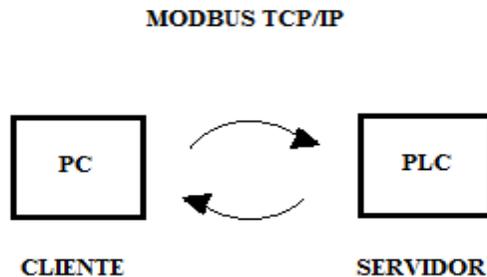
- Tipo bus
- Tipo estrella
- Tipo anillo

- Tipo árbol

### 2.6.3. Protocolo de comunicación

Se utilizan dos protocolos de comunicación que son MODBUS serial RTU y el MODBUS TCP / IP.

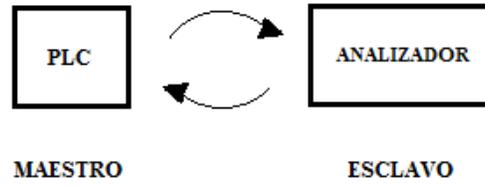
El Modbus serial RTU (Unidad de Terminal Remota) Modbus es un protocolo abierto, lo que significa que es gratuito para los fabricantes. para construir en sus equipos sin tener que pagar regalías. Tiene convertirse en un protocolo de comunicaciones estándar en la industria, y es ahora el medio más comúnmente disponible para conectar industrial dispositivos electrónicos. Es utilizado ampliamente por muchos fabricantes. a lo largo de muchas industrias. Modbus se usa típicamente para transmitir señales de instrumentación y dispositivos de control de vuelta a un principal controlador o sistema de recopilación de datos, por ejemplo, un sistema que mide la temperatura y la humedad y comunica los resultados a una computadora. Modbus se usa a menudo para conectar una computadora de supervisión con una unidad terminal remota (RTU) en control de supervisión y datos sistemas de adquisición (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para líneas seriales (Modbus RTU y Modbus ASCII) y para Ethernet (Modbus TCP).



**FIGURA 6.** ESQUEMA DEL PROTOCOLO MODBUS TCP/IP

**FUENTE:** LOS AUTORES.

**MODBUS SERIAL**



**FIGURA 7.** ESQUEMA DEL PROTOCOLO MODBUS SERIAL

**FUENTE:** LOS AUTORES.

## **CAPÍTULO III**

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **3.1. Diseño y construcción del módulo para el análisis y simulación de un motor monofásico con capacitor permanente**

El módulo de prácticas fue diseñado con el propósito de demostrar los conocimientos obtenidos en las aulas de clases y optimizar los conocimientos teóricos tanto de la automatización y el manejo de los motores monofásicos.

Una ventaja del módulo es el diseño ya que al ser compacto nos permitirá su fácil transporte esto permitirá que los estudiantes y docentes utilicen este módulo para la automatización y para el estudio de motores. Otra ventaja especial del módulo es que podrá comunicarse con los equipos de otras marcas y modelos con el fin de obtener prácticas análisis y simulaciones a mayor escala e ir mejorando la forma de enseñar a los futuros ingenieros de UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.

El diseño del módulo didáctico ha pasado por varios arreglos y ajustes técnicos para lograr su mejor manejo y su precisión a continuación podremos ver su construcción del módulo de análisis y simulación el ensamblaje y los componentes del cual fue construido.

#### **3.2. Diseño y construcción de la estructura metálica**

El metal que se usó es de acero galvanizado de 1.4 mm para su construcción se pasó por las siguientes etapas.

#### **3.3. Etapa de corte diseño y mediciones**

Lo primero fue elaborar el diseño en AutoCAD®. Una vez finalizado fue entregado para su revisión y aprobación, después se llevó los planos para su respectiva medición y corte sobre las planchas de acero de 1.4 mm la cortadora debe tener cuchillas que haga cortes rectos y firmes para lo cual hemos de usar las respectivas protecciones para evitar daños.

### 3.3.1. Troquelado

Hechos los respectivos cortes uniremos las partes y se harán los agujeros en ellos estarán ubicados los selectores pulsadores, luces pilotos, PLC y voltímetros.

Luego se procederá a llevar a la troqueladora ya con los planos ella procederá a realizar los cortes finales.

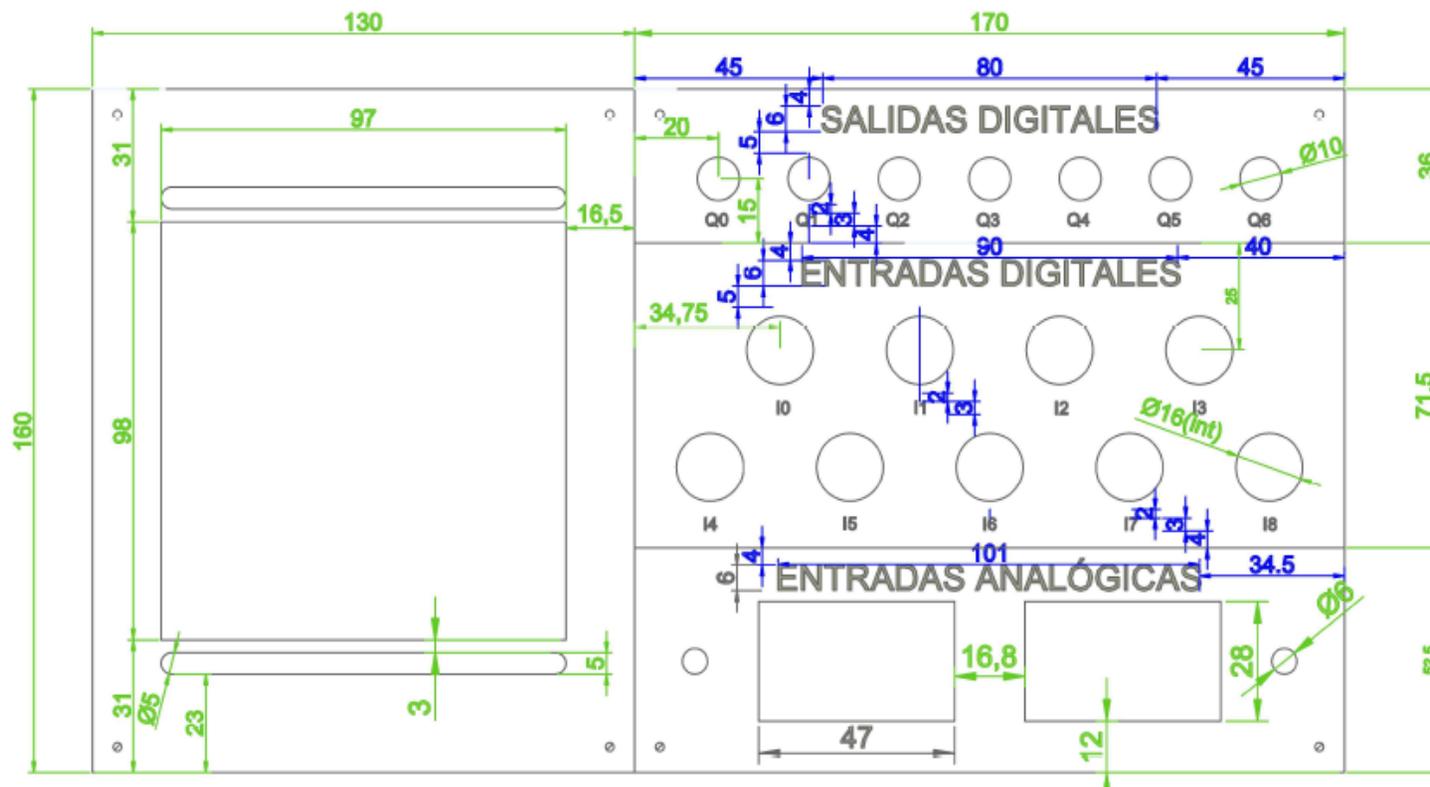
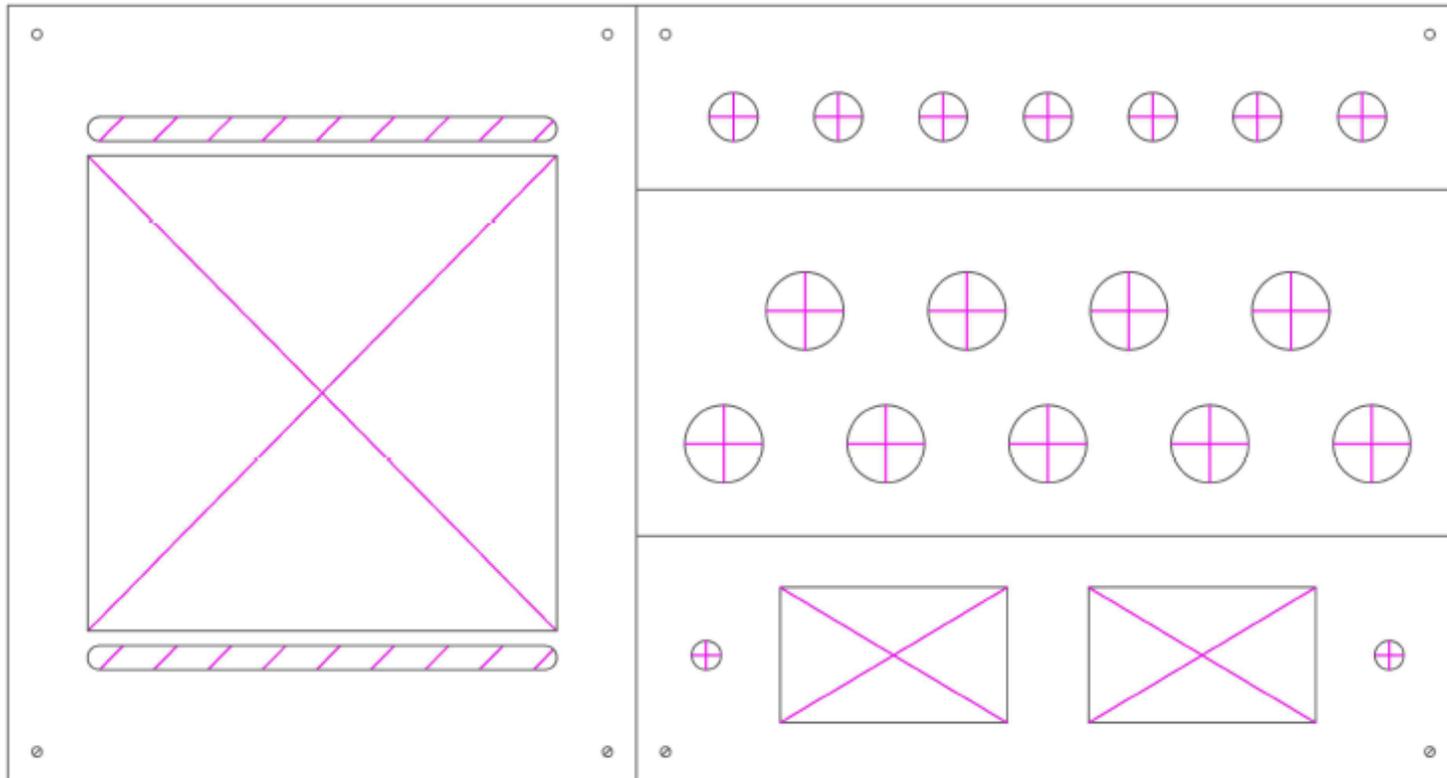


FIGURA 8. PLANOS PARA LAS ENTRADAS ANALÓGICAS , ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES

FUENTE: LOS AUTORES



**FIGURA 9.** DIAGRAMA PARA CORTE DEL MÓDULO DE PRUEBAS

**FUENTE:** LOS AUTORES

### **3.4. Materiales.**

#### **3.4.1. Dobladora**

Una vez cortada y troquelada las respectivas planchas serán llevadas a la dobladora para hacer los respectivos dobleces lo cual le dará forma al módulo.

#### **3.4.2. Soldadura**

Ya dobladas las planchas se pasa al área de soldadura donde se unen todas las piezas del módulo y soldaremos los pernos para las para la unión de la tapa porta cables y las demás piezas.

#### **3.4.3. Pintado**

Tras haber pasado por el área de soldadura y troquelado la estructura ya se encuentra compacta y lista para pasar al siguiente paso que es sumergirla en tinas para el desoxidado de los materiales residuales y el desengrasado para así tener un metal liso y sin desechos de los cortes anteriores.

Ya limpio y sin desechos se introduce al área de pintado ingresaremos al módulo en un ambiente cerrado donde lo pintaremos con 2 capas de pintura electroestática.

Luego de pintarlo se introduce en un horno para su secado, este tendrá una temperatura moderada que le permita a la pintura secarse de mejor manera como resultado final un módulo de la siguiente forma.

### **3.5. Distribución y etiquetado de la parte frontal del módulo**

A continuación, se describe los elementos con los cuales se proyecta el análisis y simulación de un motor monofásico con capacitor permanente.

Visualización: En la parte frontal se encuentra el controlador lógico MODICON M221, TM221CE16R de la marca SCHNEIDER, las luces piloto que muestra de forma visual la activación de las salidas del PLC.

Salidas: La salida estará conformada por cinco selectores los cuales serán usados para el respectivo funcionamiento de la salida del PLC.

Medición: tendrán un rango de 0VDC a 10VDC por lo permitirá la medición de las señales analógicas.

Alimentación de entradas analógicas: Está conformada por dos tarjetas reguladoras de 0VDC a 10VDC.

Alimentación de entradas y salidas digitales: Mediante una fuente interna de 24VDC del controlador lógico MODICON M221, TM221CE16R de la marca SCHNEIDER.

Alimentación variable: Esta alimentada por 2 tarjetas reguladoras de 0 VDC a 10VDC.



**FIGURA 10. MÓDULO DE PRUEBAS TERMINADO**

**FUENTE: LOS AUTORES**

### 3.5.1. Distribución interna del módulo

La construcción interna se elaboró de fácil uso, mantenimiento y cableado evitando el uso de canaletas debido a las dimensiones del módulo.

En la parte superior podremos observar el controlador lógico MODICON M221, TM221CE16R de la marca SCHNEIDER, botoneras y selectores, luces pilotos y displays digitales.

En la parte inferior se observará el PLC, riel DIN, socket de alimentación e interruptor de encendido y el cableado interno de las entradas y salidas digitales del módulo.

Esta construcción permitirá un fácil cableado y una mejor visualización de sus respectivos elementos. Cuando sea necesario un mantenimiento no habrá problema en la visualización de los elementos y en el reemplazo de los mismo ya que se encuentra cableado de forma ordenada.



**FIGURA 11.** CABLEDO INTERNO DEL MÓDULO DE PRUEBAS

**FUENTE:** LOS AUTORES

### 3.6. Dispositivos instalados

#### 3.6.1. Datos técnicos del PLC

DESCRIPCIÓN TÉCNICA:	
Gama del producto	Controlador lógico MODICON M221, TM221CE16R M221.
Tipo de producto	Autómata programable
Tensión de alimentación	24 VDC
De pie conducto	14 entradas discreta de acuerdo con IEC 61131-2 tipo 1 incluyendo 4 entradas rápidas
Número de entradas analógicas	2 en el rango de entras: 0 a 10V
Tipo de salida digital	Transistor
Número de salidas discretas	10 transistor incluyendo 2 salidas rápidas
Tensión de salida	24 VDC
Montado en la pared del conducto	0.5 A

Principal	
Número de E/S digitales	24
Número de E/S del módulo de expansión	7 para salida de transistor; 7 salidas de relé
Límites tensión alimentación	20.4 a 28.8 V
Corriente de entrada	35 A
Consumo de energía en W	14W en 24V módulo de expansión con número máximo de E/S; 4.8W en 24V sin módulo de expansión E/S
Corriente de salida fuente de alimentación	0.52 A en 5V para bus de expansión; 0.2 A en 24V para bus de expansión

Entrada lógica	Recepción o suministro(positivo/negativo)
Tensión de entrada digital	24V
Tipo de voltaje entrada discreto	DC
Resolución de entrada analógica	10 bits
Valor LSB	10 mV
Tiempo convers	1 ms por canal + 1 controlador del ciclo de tiempo para entrada analógica
Sobrecarga permitida en entradas	+/- 30 V CC para entrada analógica con 5 minutos máximo; +/- 13 V CC para entrada analógica permanente.
Corriente de entrada discreta	7 mA para entrada digital; 5 mA para entrada rápida
Frecuencia de salida	100 kHz para salida rápida (modo PWM/PLS) en Q0...Q1 terminal. 5 kHz para salida en Q2 a Q3 terminal 0.1 kHz para salida en Q4 a Q9 terminal
Error de precisión absoluta	+/- 1 % de la escala total para entrada analógica.
Capacidad de memoria	256 kB para aplicación de usuarios y datos RAM con 10000 instrucciones. 256 kB para variables internas RAM.
Tipo de batería	BR2032 litio no-recargable, vida batería: 4 y r
Tiempo de backup	1 año en 25 °C por interrupción de fuente de alimentación

Funciones de posicionamiento	PLS (Pulso). PWM (modulación de ancho de pulsos). Generador de frecuencia.
Número de entrada de contaje	4 entrada rápida (modo HSC) (contando frecuencia: 100 kHz), contando capacidad: 32 bits.
Tipo de señal de control	Monofásico. Impulso/dirección. A/B.
Tipo de Conexión integrada	Porta USB con conector USB 2.0 mini B. Ethernet con conector RJ45. Enlace serie sin aislar "serie 1" con conector RJ45 e interfaz RS232/RS485.
Velocidad de transmisión	1,2-115,2 kbit/s (115,2 kbit/s por defecto) para long bus de 15 m - protocolo comunicación: RS485. 1,2-115,2 kbit/s (115,2 kbit/s por defecto) para long bus de 3 m - protocolo comunicación: RS232. 480 Mbit/s - protocolo comunicación: USB.
Servicio de comunicación	Ethernet/adaptador IP. Cliente DHCP. Servidor Modbus TCP. Cliente Modbus TCP. Dispositivo esclavo Modbus TCP.

**TABLA 1.** FICHA TÉCNICA DEL MODBUS.

### 3.6.2. Pulsadores

Los pulsadores que utilizamos tienen un tamaño de 16 mm y son de color verde (marcha) además poseen tres terminales (común, NO y NC) y la señal que controlan desde 110 hasta 250VDC.



**FIGURA 12.**LUCES PILOTO QUE REPRESENTAN LAS ENTRADAS DIGITALES

**FUENTE:** LOS AUTORES

### **3.6.3. Selectores**

Los selectores que se utilizan en este proyecto son de dos posiciones el tamaño de los selectores son de un diámetro de 16 mm, además cuentan con tres terminales (común, NO y NC) y la señal que controlan desde 120 hasta 250VDC.



**FIGURA 13.**SELECTORES QUE REPRESENTAN ENTRADAS DIGITALES

**FUENTE:** LOS AUTORES

### **3.6.4. Fuente de voltaje**

La fuente interna 24 VDC alimentación usada para las entradas y salidas digitales, tarjetas reguladoras de entradas analíticas.

### **3.6.5. Fuente reguladora de voltaje**

Las tarjetas reguladoras de voltaje tarjetas que reciben una alimentación de 24 VDC desde la fuente interna del PLC.



**FIGURA 14.** CIRCUITO IMPRESO ELABORADO POR LOS AUTORES

**FUENTE:** LOS AUTORES

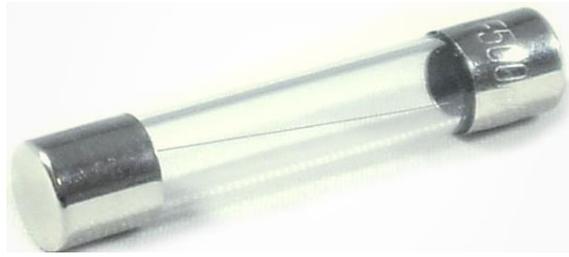


**FIGURA 15.** CONEXIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO

**FUENTE:** LOS AUTORES

### **3.6.6. Fusible**

Para el uso y funcionamiento se debe usar un fusible de plomo encapsulado en vidrio de 8 amperios, 5 x 20 mm.

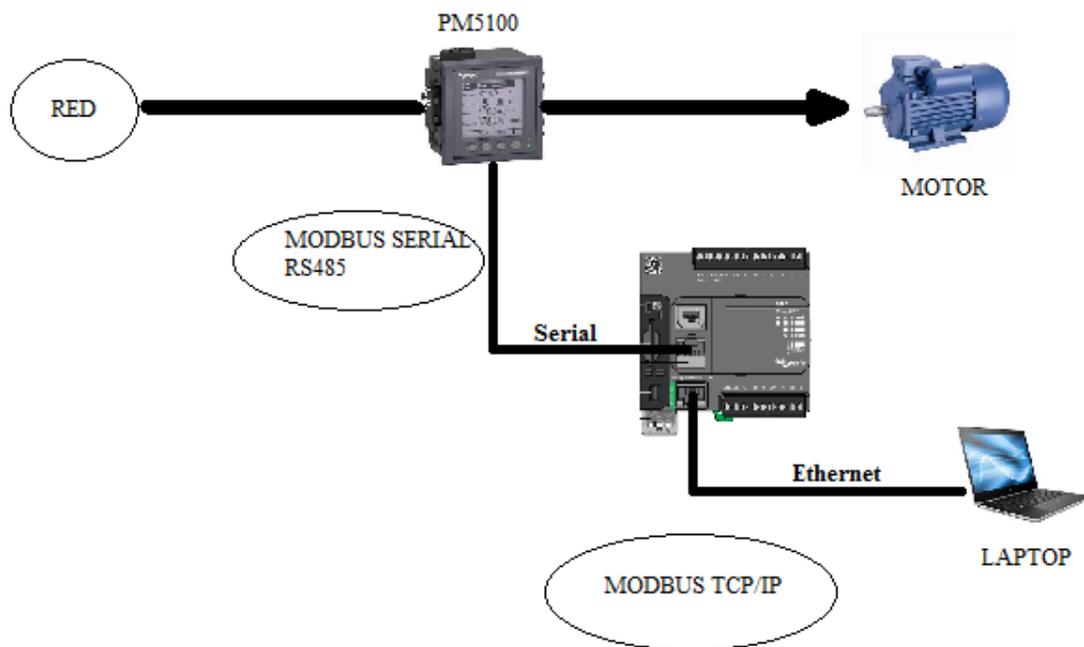


**FIGURA 16. IMÁGEN DE FUSIBLE F500**

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DEL MOTOR MONOFÁSICO CON CAPACITOR PERMANENTE.

Para el análisis del motor monofásico con capacitor permanente se plantean diferentes esquemas de procesos y componentes para la comunicación y el registro de las mediciones como muestran la figura 17.



**FIGURA 17.** ESQUEMA DE PROCESO DE COMUNICACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS DEL ANALIZADOR DE REDES PM5100 SCHNEIDER.

**FUENTE:** LOS AUTORES

Para las respectivas tomas de medición se utilizan el analizador de red PM5100 SCHNEIDER para medición de las corrientes en el devanado principal y el devanado auxiliar, el conexionado real de todos elementos del protocolo de comunicación se pueden observar en la figura 18.

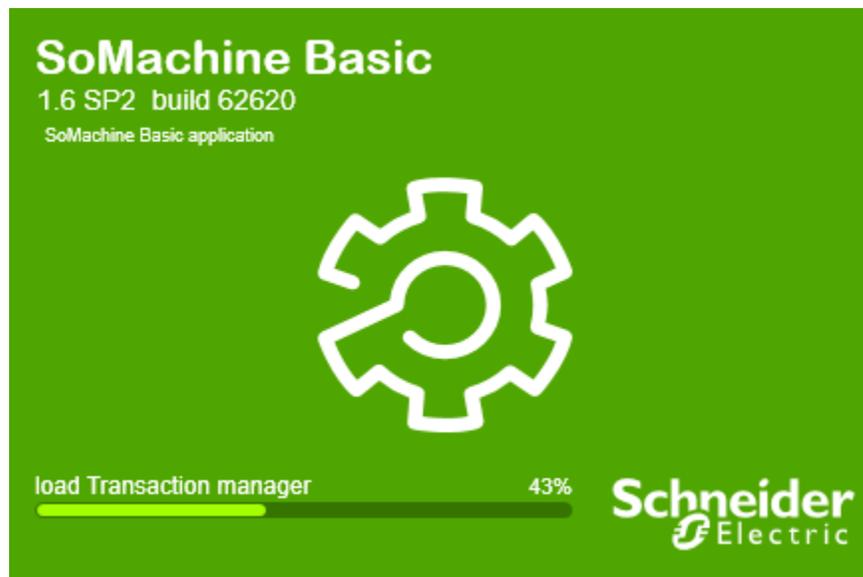


**FIGURA 18.** COMUNICACIÓN ENTRE EL ORDENADOR PORTÁTIL Y EL ANALIZADOR DE REDES PM5100 SCHNEIDER.

**FUENTE:** LOS AUTORES

En el ANEXO 2, figura 68 muestra el diagrama de conexiones para el encendido manual y desde el ordenador portátil del motor monofásico.

Primero se inicializa SoMachine Basic v 1.6 como muestra la figura 19.



**FIGURA 19.** INICIALIZACIÓN DEL PROGRAMA SOMACHINE BASIC

**FUENTE:** LOS AUTORES

Luego se crea un proyecto nuevo como indica la figura 20.

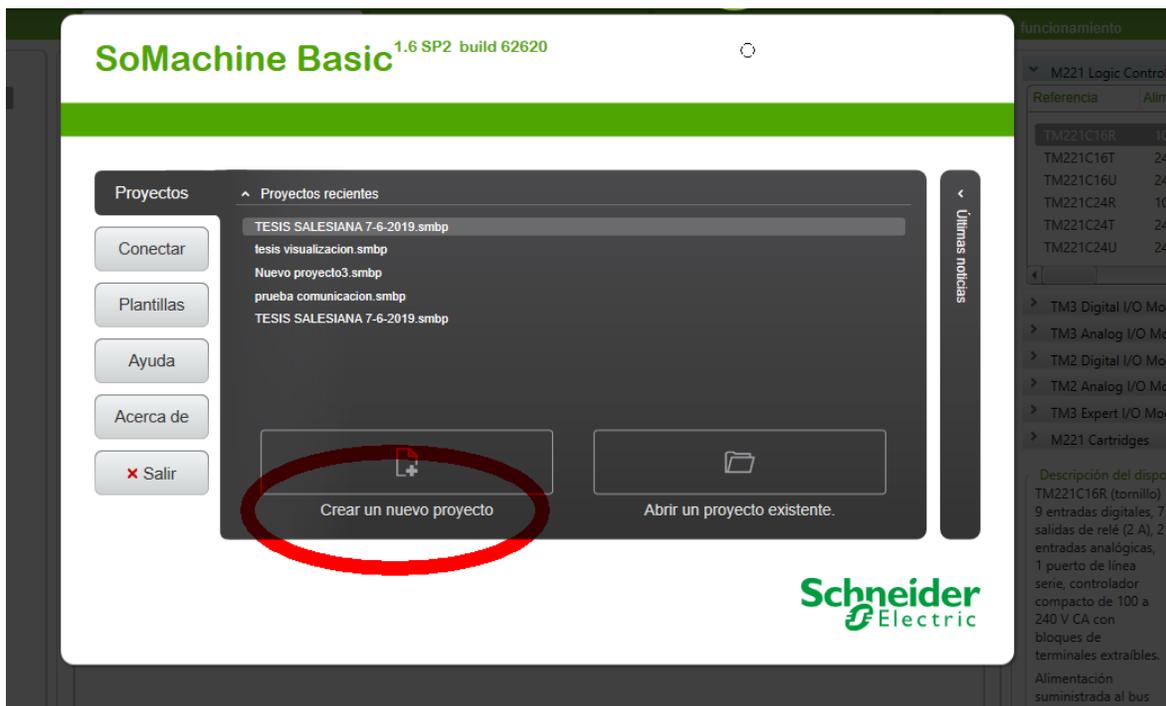
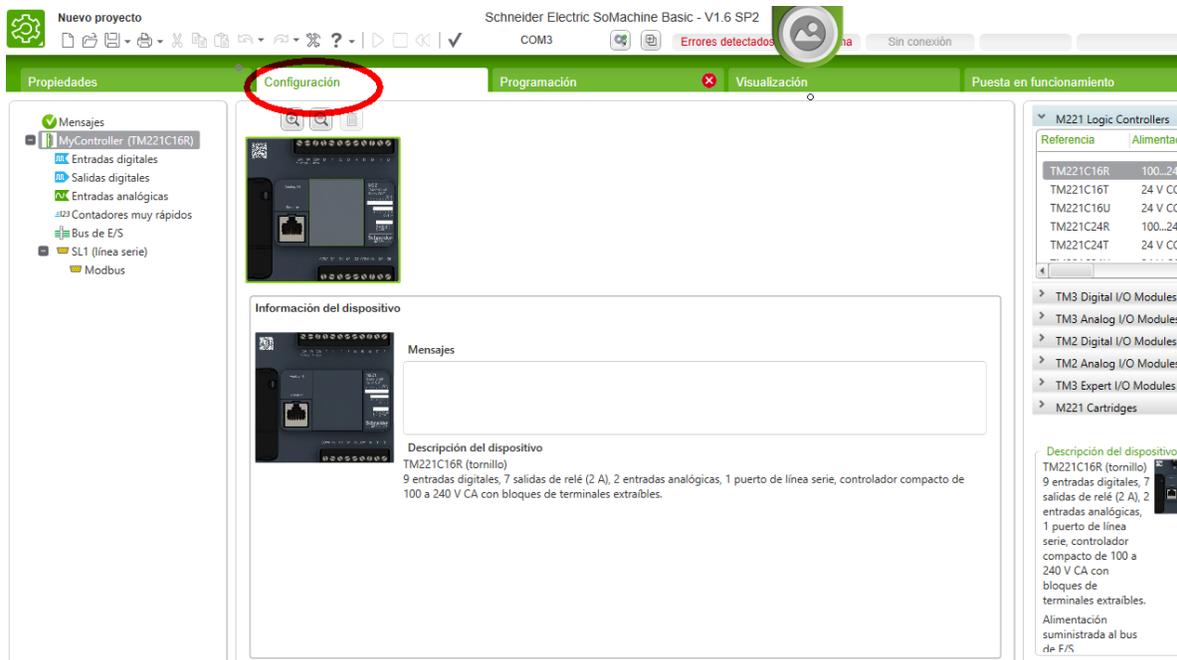


FIGURA 20. CREACIÓN DE PROYECTO SOMACHINE BASIC V 1.6

FUENTE: LOS AUTORES

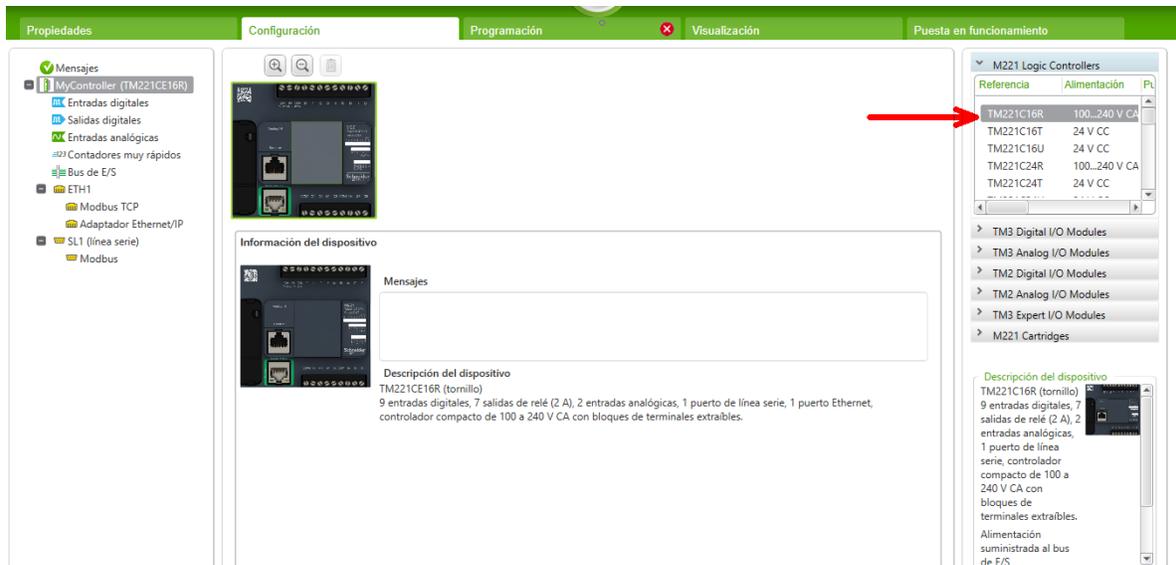
Se crea una ventana con algunas opciones se selecciona configuraciones como esta en figura 21.



**FIGURA 21.** CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVO DEL MÓDULO DE PRÁCTICAS

**FUENTE:** LOS AUTORES

A continuación, se selecciona el controlador que se vaya a usar en este caso se utiliza el controlador lógico MODICON M221, TM221CE16R de la marca SCHNEIDER para seleccionarlo se lo arrastra hasta el dispositivo siguiendo en la figura 22.



**FIGURA 22.** CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO TM221CE16R

**FUENTE:** LOS AUTORES

El siguiente paso es configurar la dirección IP (Internet Protocol) para establecer conexión como establece la figura 23.

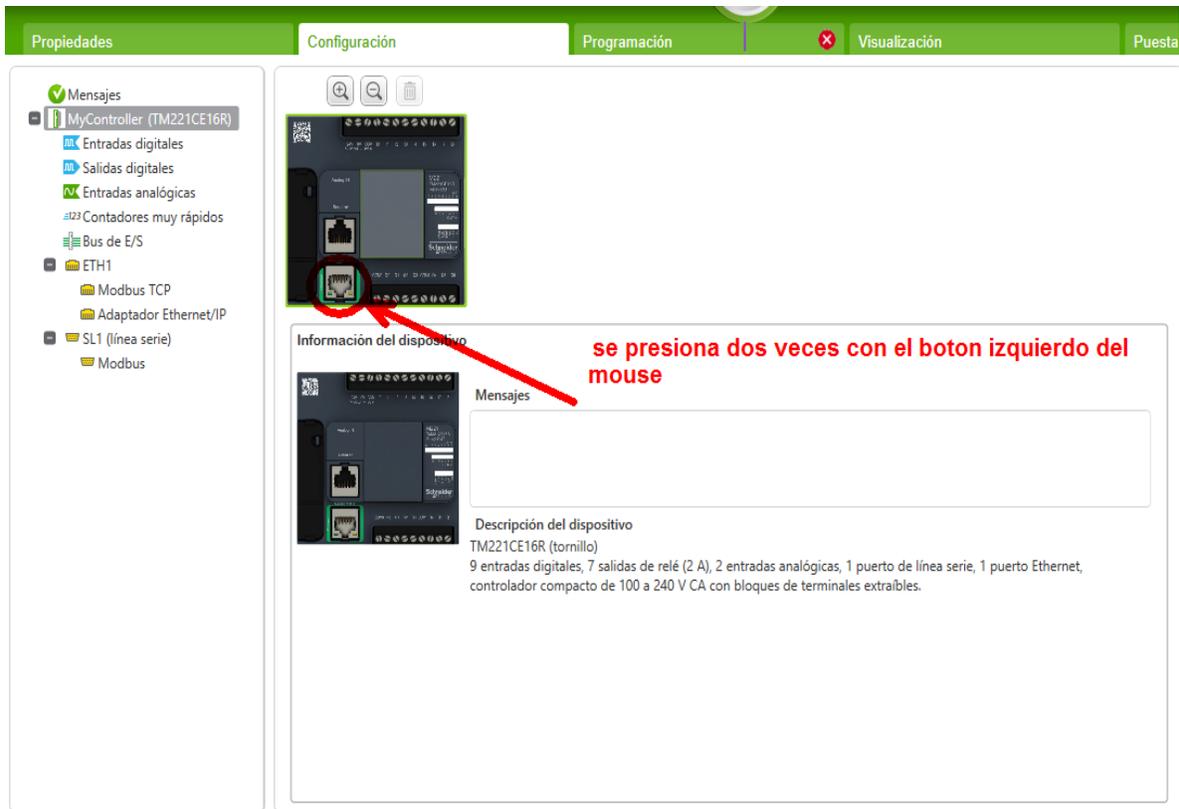
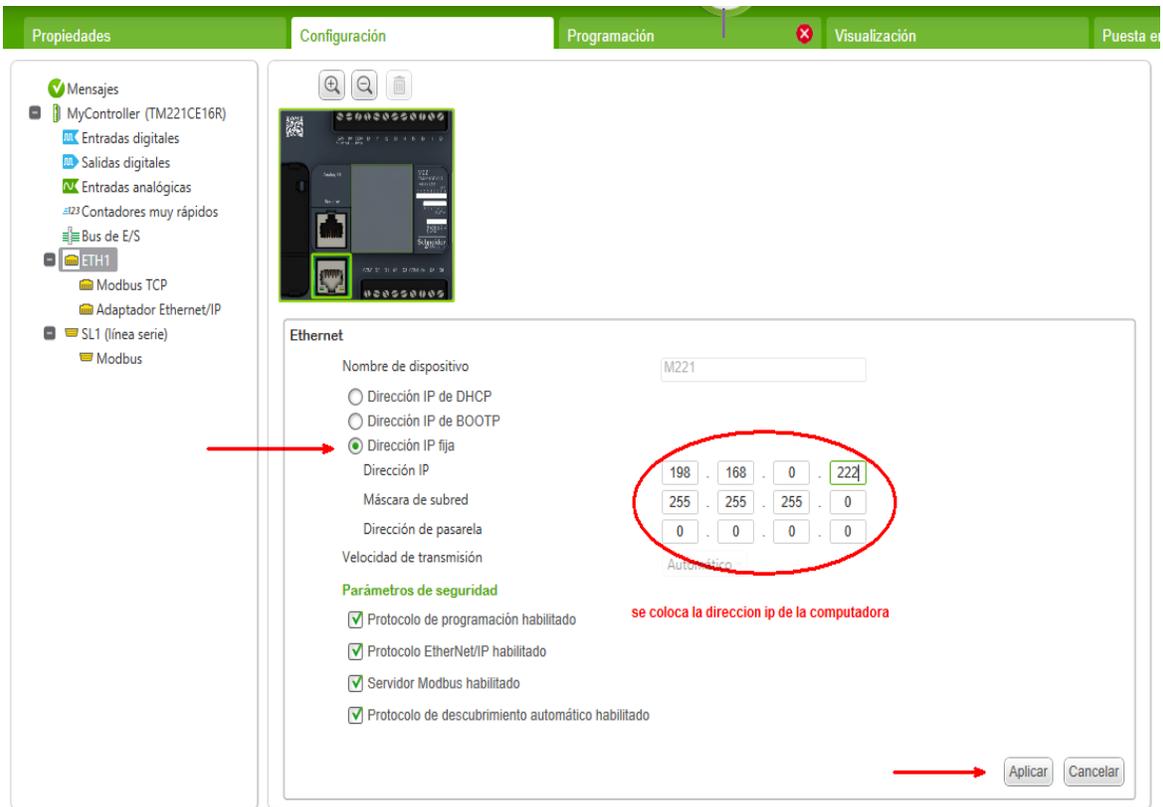


FIGURA 23. CONFIGURACIÓN DE DIRECCIÓN IP

FUENTE: LOS AUTORES

En la figura 23 al aplicar dos click se procede a la apertura de una pestaña donde se puede colocar la respectiva dirección IP (Internet Protocol) como se muestra en la figura 24 y se aplica, con eso queda configurado nuestra dirección.



**FIGURA 24. APLICACIÓN DE DIRECCIÓN IP DEL DISPOSITIVO**

**FUENTE: LOS AUTORES**

Para poder ver con exactitud la dirección IP (Internet Protocol) de la computadora se puede con solo escribir el comando ipconfig en el programa cmd de Windows. En las figuras 25, se puede observar los procedimientos en la computadora.

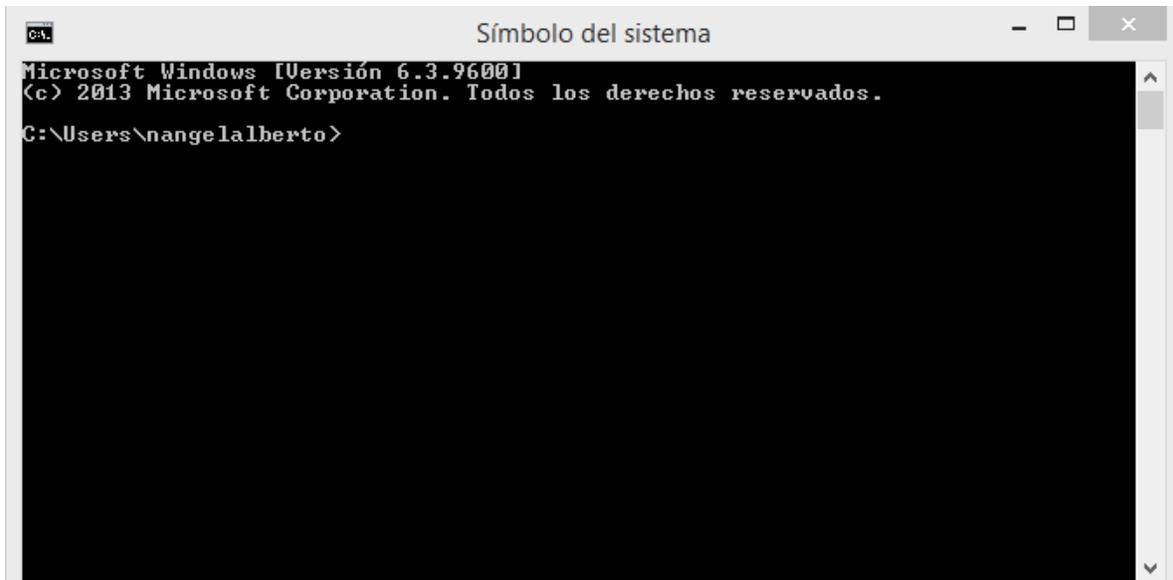


FIGURA 25. SÍMBOLO DEL SISTEMA CMD PARA DIRECCIÓN IP DE LA COMPUTADORA

FUENTE: LOS AUTORES

Listo la configuración IP (Internet Protocol) se procede a la conexión del computador portátil con el controlador lógico MODICON M221, TM221CE16R de la marca SCHNEIDER (figura 26).

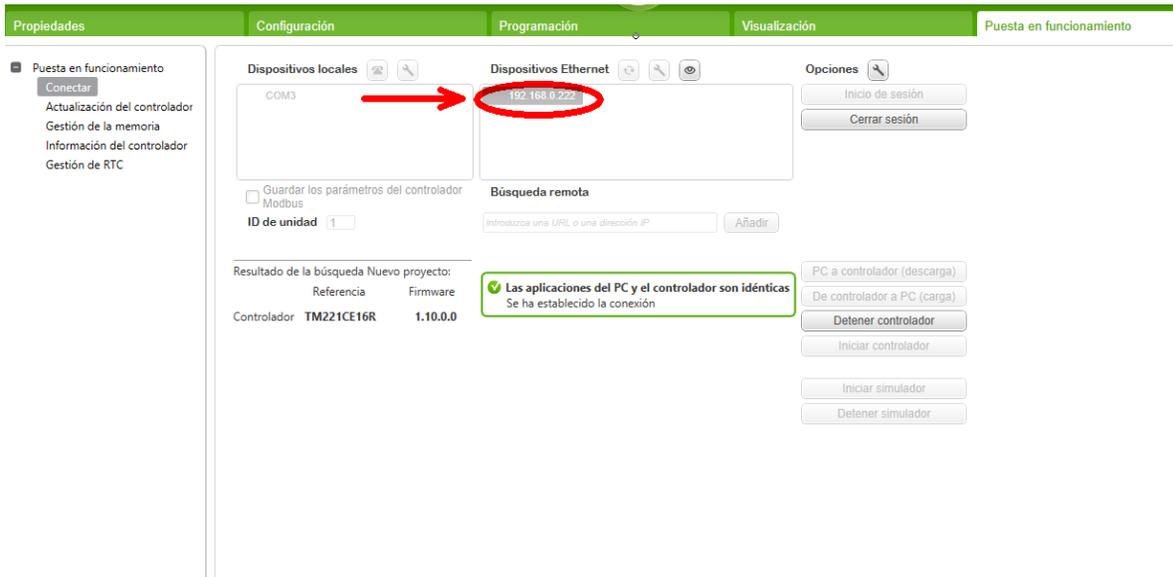


FIGURA 26. VERIFICACIÓN DE CONEXIÓN DE DISPOSITIVO

FUENTE: LOS AUTORES

Una vez realizada la conexión se procede a iniciar sesión después de cargarse el dispositivo se realiza un click en la opción PC a controlador (descarga) con esto queda cargado el programado en el dispositivo dado el caso en el modbus Schneider TM221CE16R además indica que la conexión se establece correctamente (figura 27).

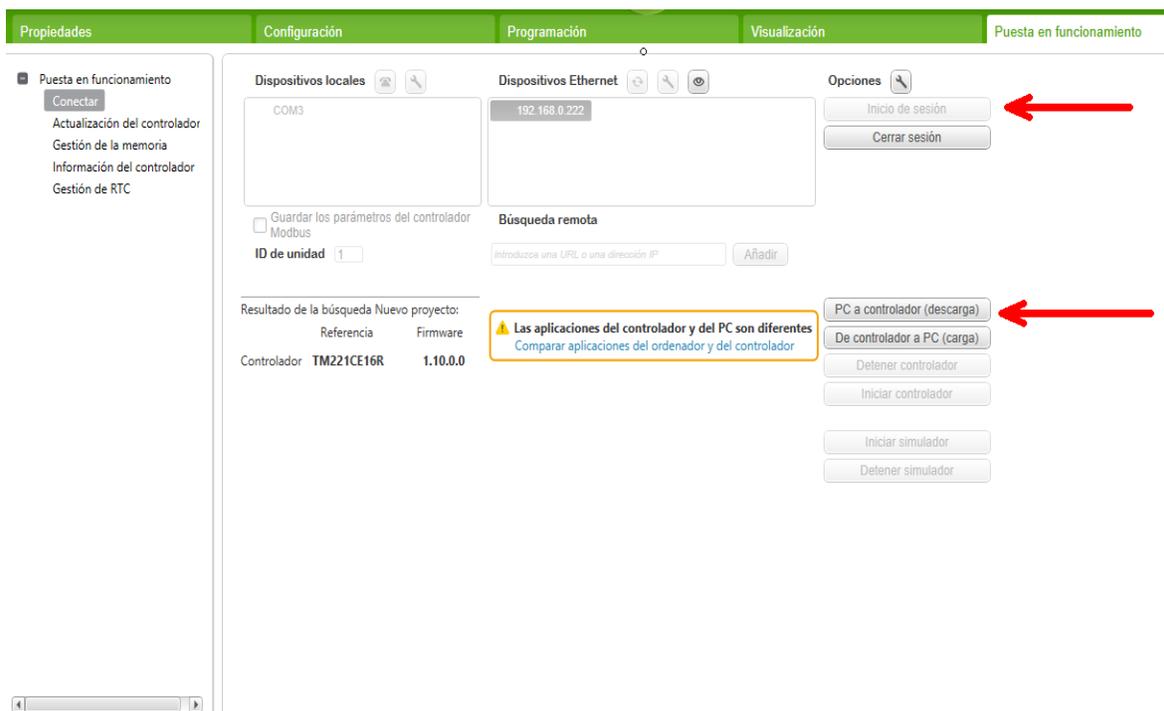


FIGURA 27. INICIO DE SESIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL PROGRAMA

FUENTE: LOS AUTORES

Establecida la conexión se continua con el programa del proceso de control de datos del analizador de red PM5100 SCHNEIDER.

Objetos de lenguaje de programación en SoMachine Basic V.1.6, el término objeto se utiliza para representar un área de la memoria del controlador lógico reservada para que la utilice una aplicación. Los objetos pueden ser:

- Variables de software simples, como bits de memoria y palabras.
- Direcciones de las entradas y salidas digitales o analógicas.
- Variables internas del controlador, como palabras y bits del sistema.
- Funciones predefinidas del sistema o de los bloques de funciones, como temporizadores y contadores.

La memoria del controlador está preasignada para determinados tipos de objetos, o bien se asigna automáticamente cuando una aplicación se descarga en el controlador lógico.

Para la asignación de memoria para programación se realiza la descripción de la misma en la siguiente tabla.

**TABLA 2. ASIGNACIÓN DE MEMORIAS**

<b>MEMORIAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
%M2	Status de lectura
%M15	Motor
%M33	Encendido del motor
%M35	Estado general encendido del analizador de red PM5100 SCHNEIDER
%M50	Actualización de lecturas
%M60	Tiempo de lectura
%M77	Apagado del motor

Para las entradas de la programación se muestra en la siguiente tabla.

**TABLA 3. ASIGNACIÓN DE ENTRADAS.**

ENTRADAS	DESCRIPCIÓN
%I0.0	Encendido
%I0.1	Apagado

Las salidas de la programación son las siguientes.

**TABLA 4. ASIGNACIÓN DE SALIDAS**

SALIDAS	DESCRIPCIÓN
%Q0.0	Encendido del motor físico
%Q0.3	Encendido del analizador físico

Para las asignaciones de variables Word están representadas en la siguiente tabla.

**TABLA 5. ASIGNACIÓN DE VARIABLES WORD**

%MW	SÍMBOLO
%MW9	MW9
%MW11	MW11
%MW39	MW39

También para el control de los tiempos de procesos se asignan temporizadores que son los siguientes.

**TABLA 6. ASIGNACIÓN DE VARIABLES DE LOS TEMPORIZADORES**

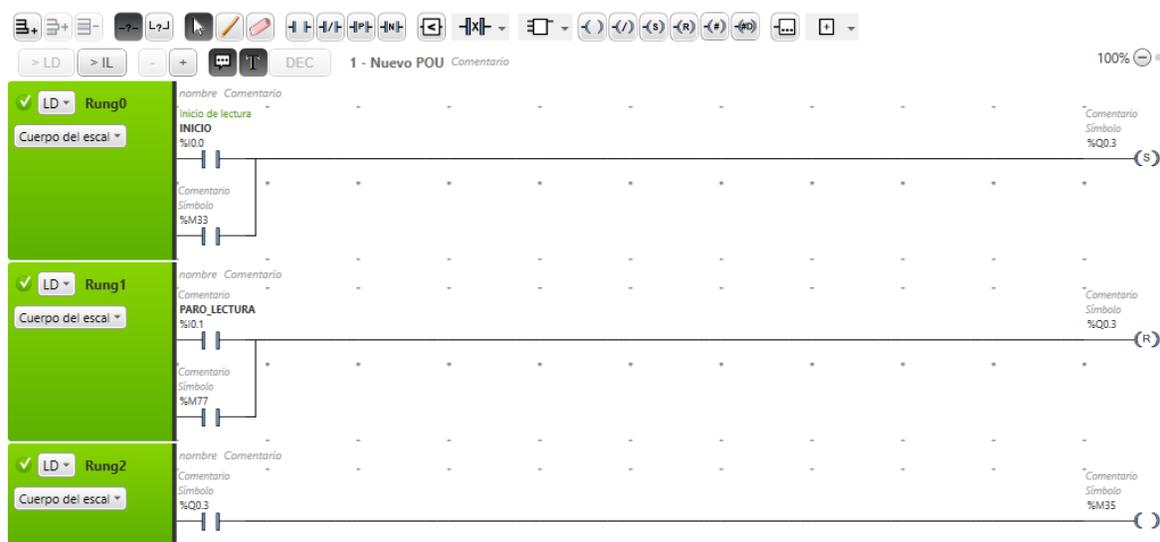
%TM	TIEMPO (ms)
%TM0	1
%MW11	1

Inicialmente los diagramas mediante la programación Ladder (escalera) como muestra la figura 28, la descripción está dada por unas entradas %I0.0 y %M33 que representan las estradas físicas y en la pantalla virtual el encendido del proceso respectivamente.

Las salidas físicas %Q0.3 permiten el encendido del motor y la activación del analizador PM5100 SCHNEIDER, pero con una bobina set.

La entrada %I0.1 representa el apagado físico del sistema y cuenta con una bobina de reset %Q0.3 que fuerza la variable en falso y que establecida indefinidamente.

Donde %Q0.3 activa la memoria %M35.



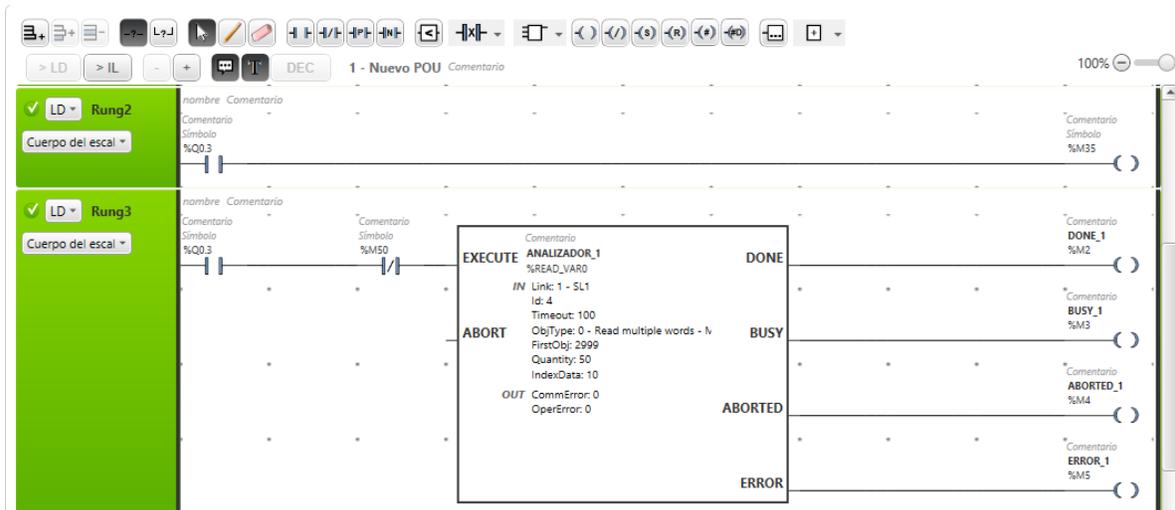
**FIGURA 28.** AÑADIENDO FILAS DE PROGRAMACIÓN PARA EL PROCESO SOMACHINE BASIC

**FUENTE:** LOS AUTORES

%Q0.3 activa la señal de la memoria %M50 para la petición de datos del analizador PM5100 SCHNEIDER

Se añade el bloque RED\_VAR que permite leer una variable o dato guardado en un dispositivo remoto que esta enlazado al PLC, el bloque empieza a leer cuando detecta un

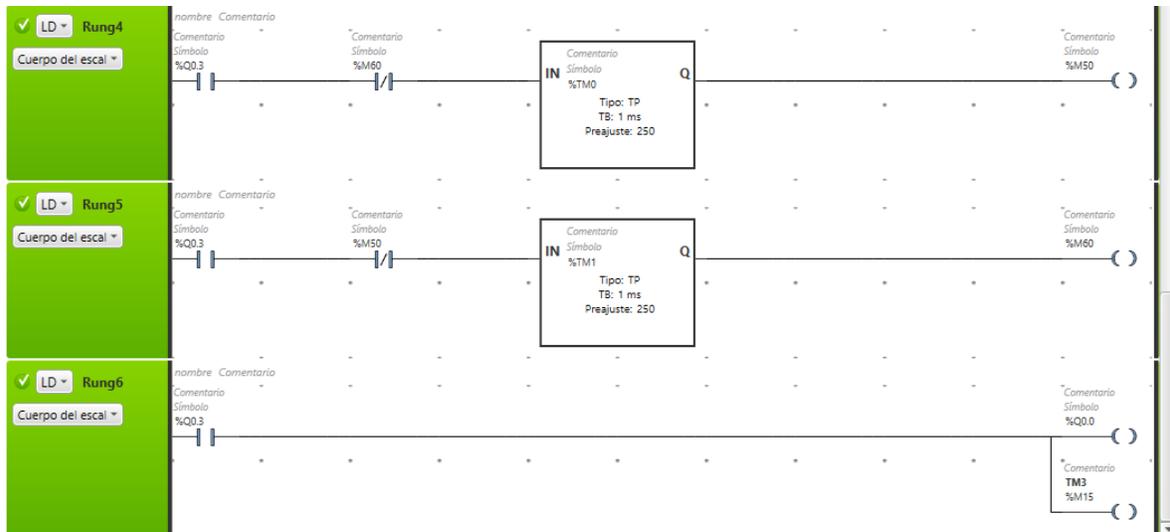
flanco positivo en la entrada por el contacto %Q0.3esta en contacto abierto como muestra la figura 29.



**FIGURA 29. AÑADIENDO BLOQUE DE FUNCIONES READ\_VAR**

**FUENTE: LOS AUTORES**

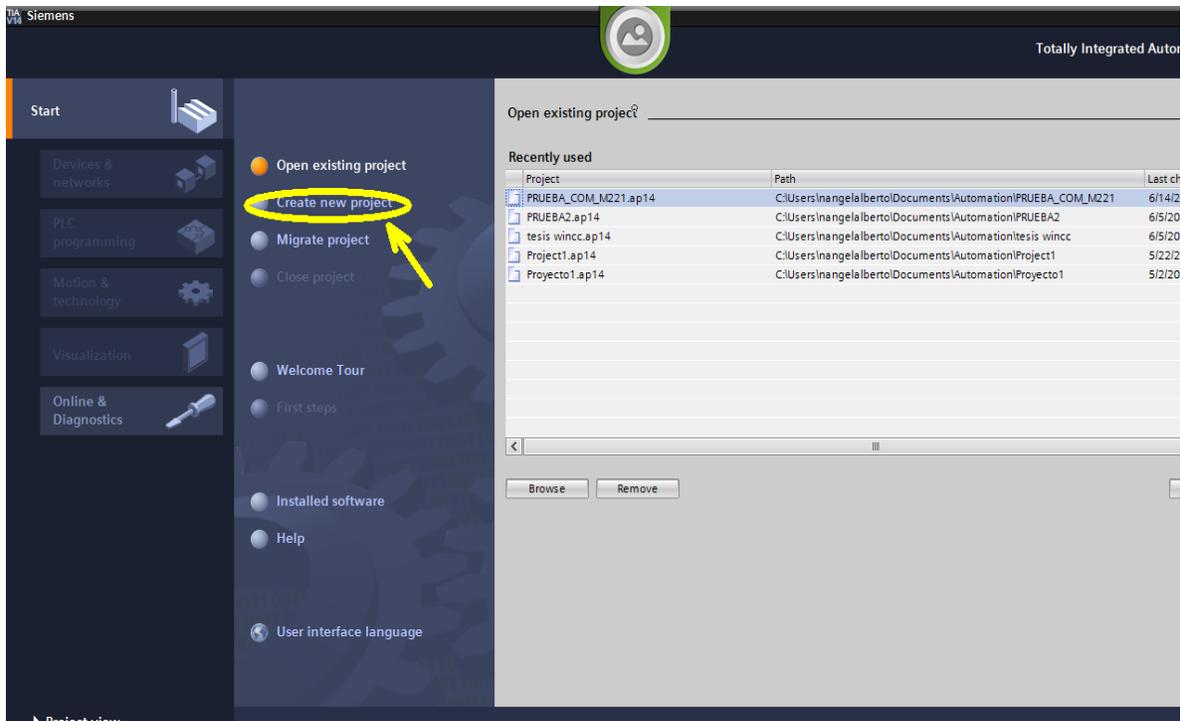
Se añade los temporizadores %TM0 y %TM1 para la actualización de los datos ende los en el visualizador gráfico de WINCC RT Professional versión 14.0 y el tiempo de estado estable respectivamente.



**FIGURA 30. AÑADIENDO TEMPORIZADORES**

**FUENTE: LOS AUTORES**

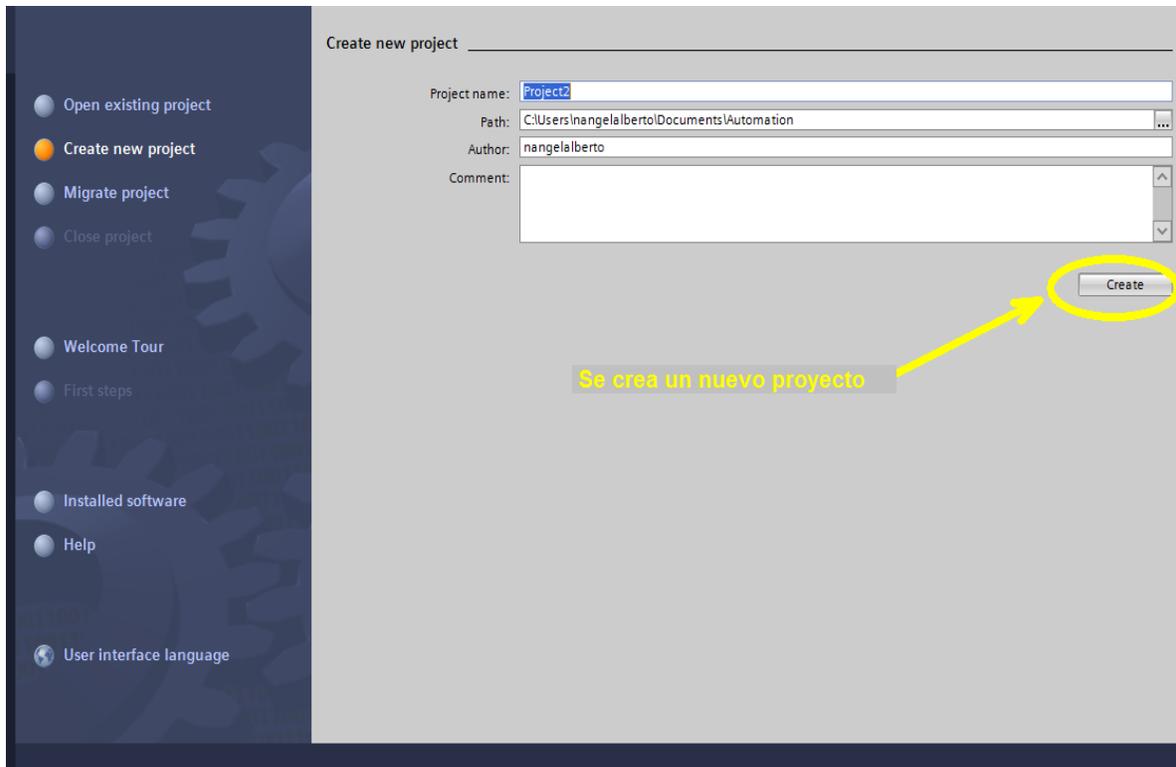
El siguiente paso es establecer las variables en el TIA PORTAL V.14 para la visualización en la pantalla gráfica HMI que ofrece este programa, para esto se inicializa el WINCC RT PROFESSIONAL V.14 de TIA PORTAL V.14.



**FIGURA 31. CREACIÓN DE NUEVO PROYECTO EN TIA PORTAL V.14.**

**FUENTE: LOS AUTORES**

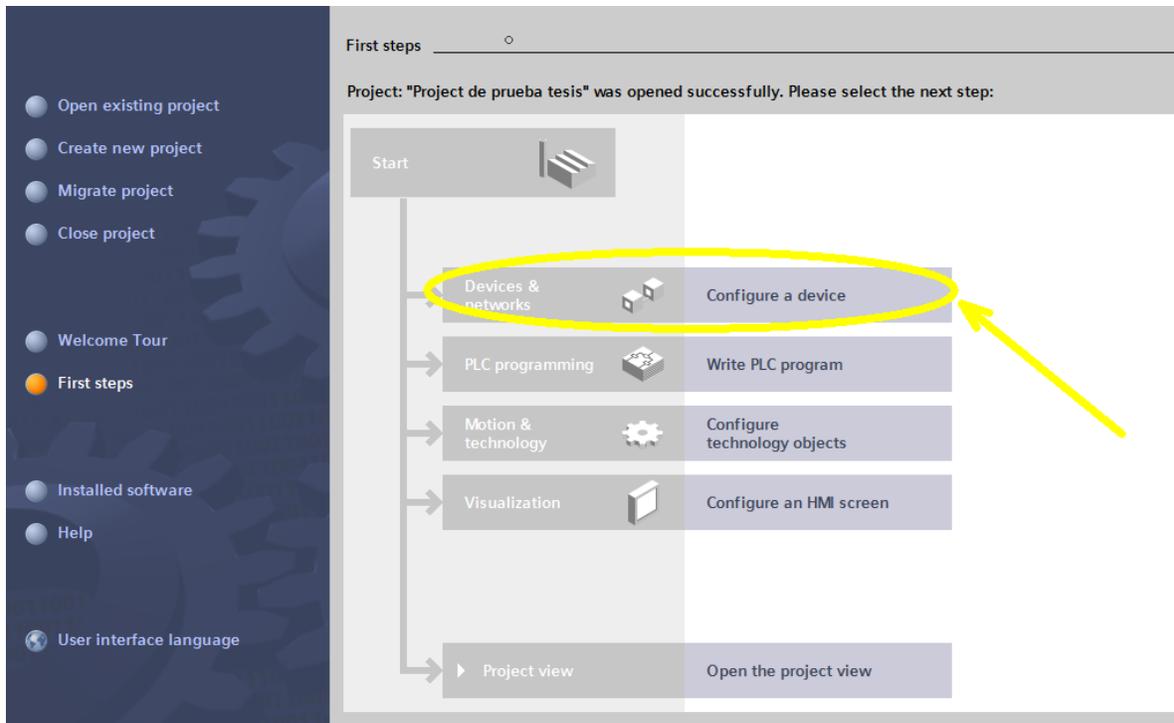
Se puede colocar a conveniencia nombre del proyecto y guardarlo en el lugar que mejor convenga como muestra la figura 31.



**FIGURA 32.** ASIGNACIÓN DE NOMBRE Y LUGAR PARA GUARDAR EL PROYECTO

**FUENTE:** LOS AUTORES

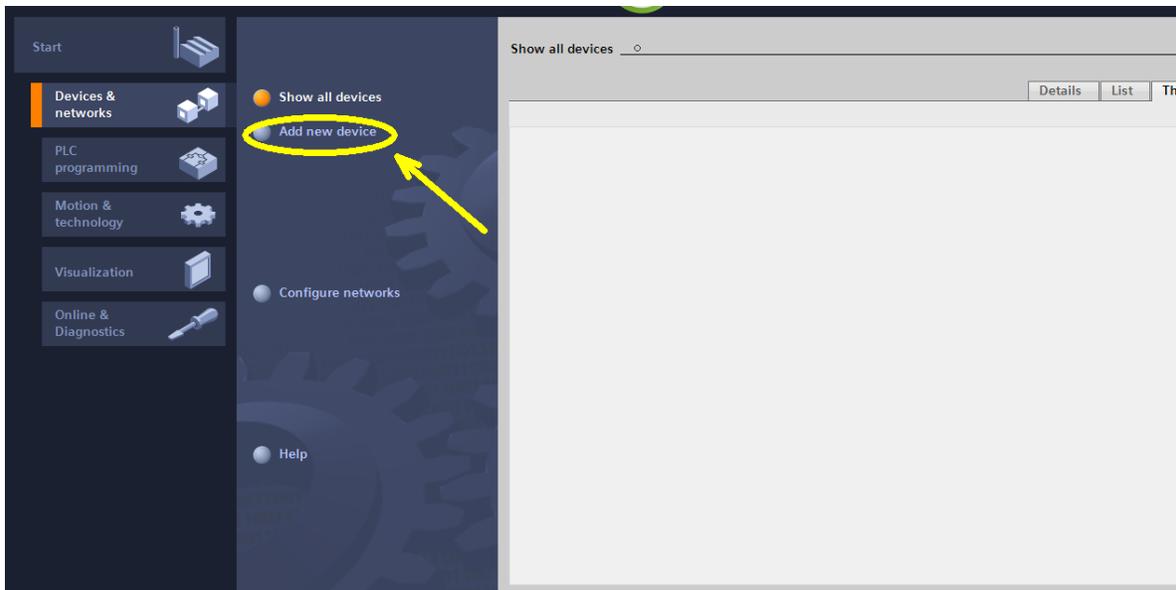
Una vez asignado el nombre del proyecto y guardarlo en cualquier carpeta que mejor convenga se realiza un click a la opción Configure a device en inglés Configuración de un dispositivo en español que se encuentra en el centro de la pantalla como señala la figura 33.



**FIGURA 33. CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS**

**FUENTE: LOS AUTORES**

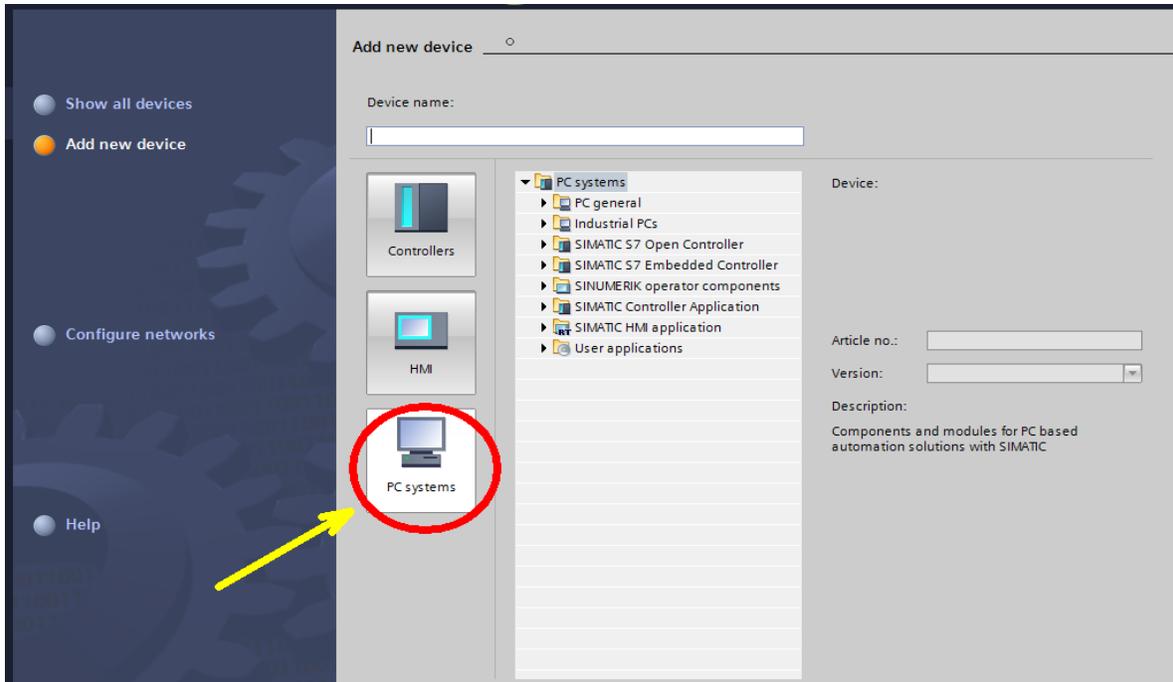
Al establecerse las nuevas opciones selección de programa se presiona dando click a la opción Add new device en inglés y en español Añadir nuevo dispositivo como presenta la figura 34.



**FIGURA 34. SELECCIÓN Y AÑADIR DISPOSITIVOS.**

**FUENTE: LOS AUTORES**

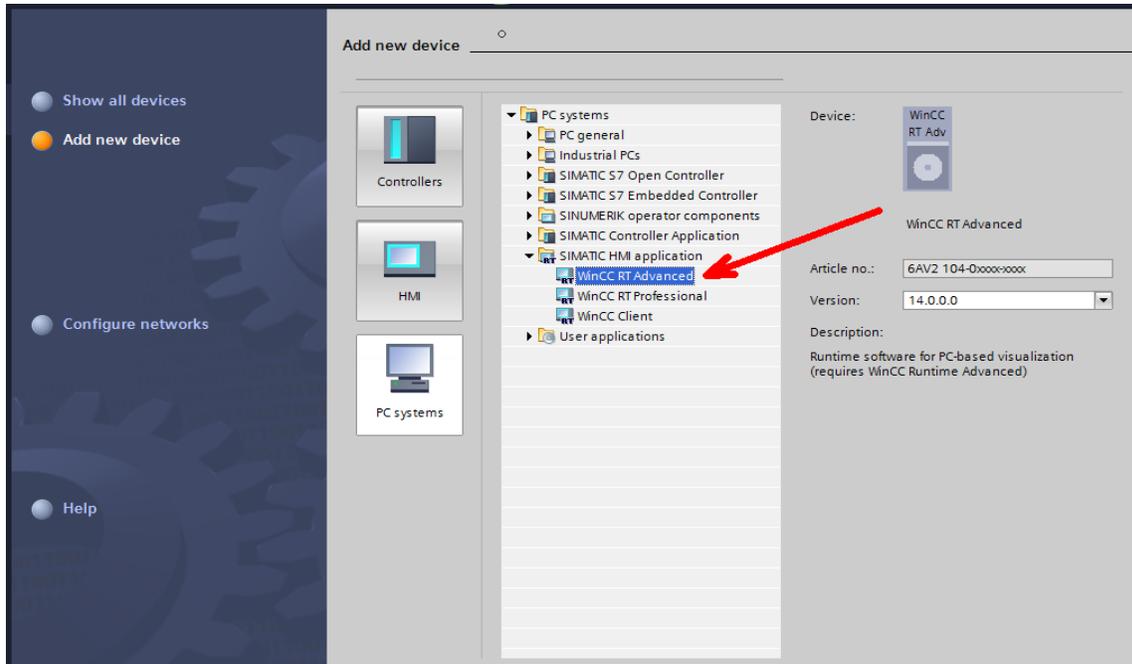
Se procede a realizar un click en pc systems y se abren diferentes opciones.



**FIGURA 35. SELECCIÓN DE OPCIÓN SISTEMA DEL ORDENADOR PC SYSTEM.**

**FUENTE: LOS AUTORES**

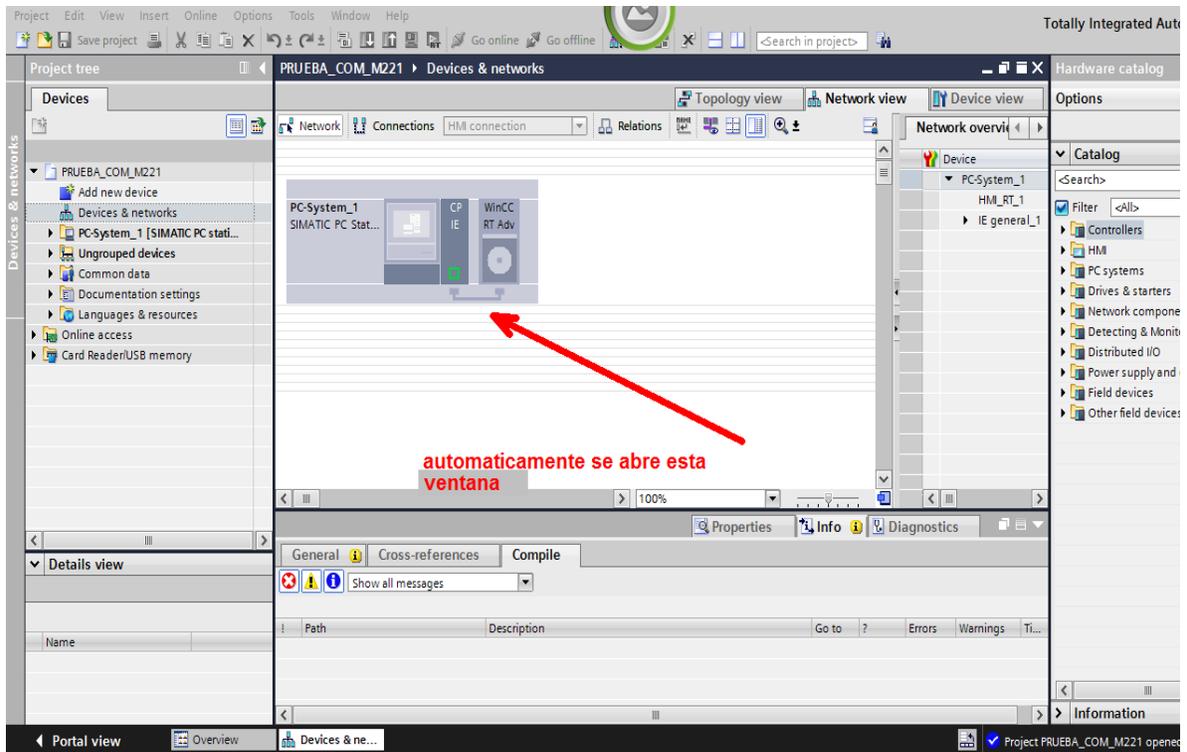
Luego se busca la opción Simatic HMI application y se escoge la opción Wincc RT Advanced



**FIGURA 36.** SELECCIÓN DE PANTALLA GRÁFICA DE LA APLICACIÓN WINCC RT PROFESSIONAL VERSIÓN 14.0

**FUENTE:** LOS AUTORES

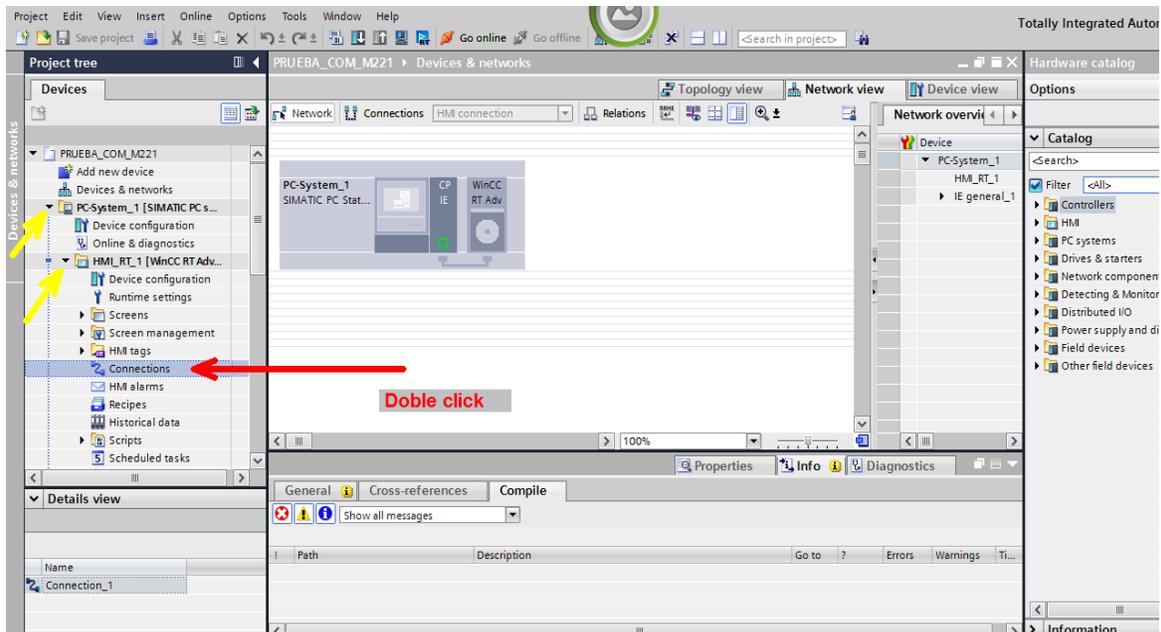
Automáticamente se abre una ventana para hacer la visualización virtual entre el SoMachine BASIC V.1.6 y el TIA PORTAL V.14.



**FIGURA 37. ASIGNACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS**

**FUENTE: LOS AUTORES**

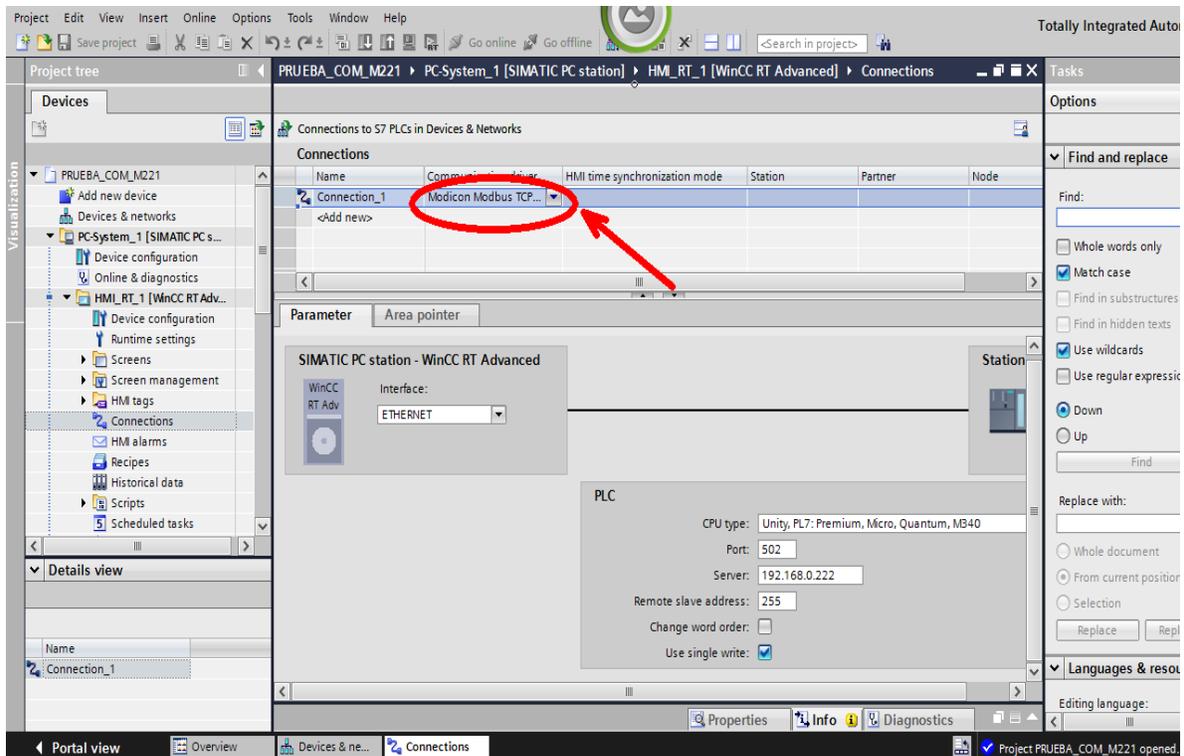
Para establecer una conexión entre el dispositivo y la máquina virtual creada se procede como indica la figura 38.



**FIGURA 38. TIPOS DE CONEXIONES**

**FUENTE: LOS AUTORES**

Se verifica que todos los parámetros establecidos pertenezcan al dispositivo.



**FIGURA 39. CONEXIÓN CON EL MODICON MODBUS TCP**

**FUENTE: LOS AUTORES**

Establecida la conexión se comienza a añadir las variables para el control del visualizador HMI (Interfaz Hombre Máquina) y también para el SoMachine BASIC V.1.6.

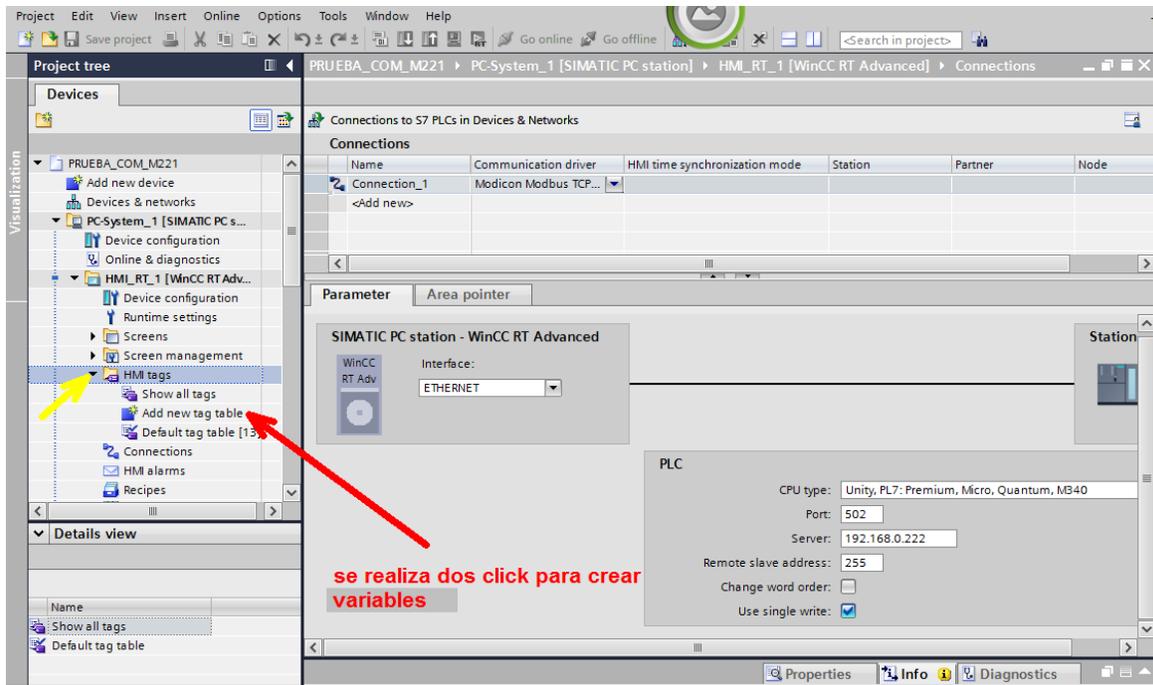


FIGURA 40. OPCIONES PARA ASIGNACIÓN DE VARIABLES DE PROCESO.

FUENTE: LOS AUTORES

Se crean las variables para establecer los procesos de manual y automático además de establecer los tipos de información en este caso bit e int que representa el tipo de información.

Se aplica dirección a cada variable como indique el caso a corresponder.

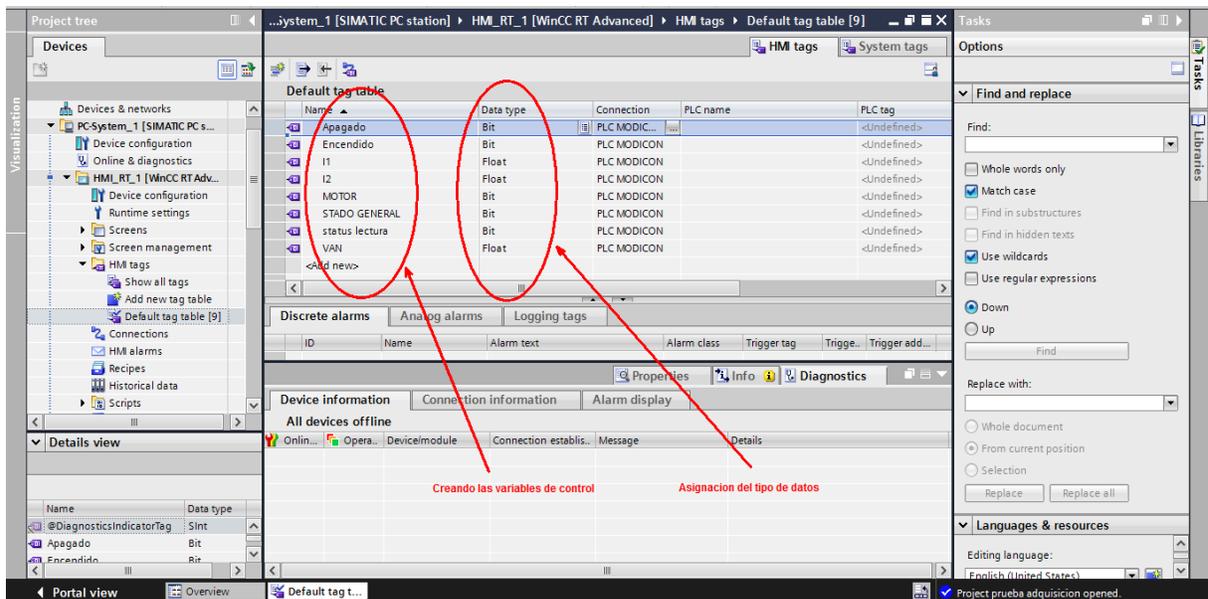
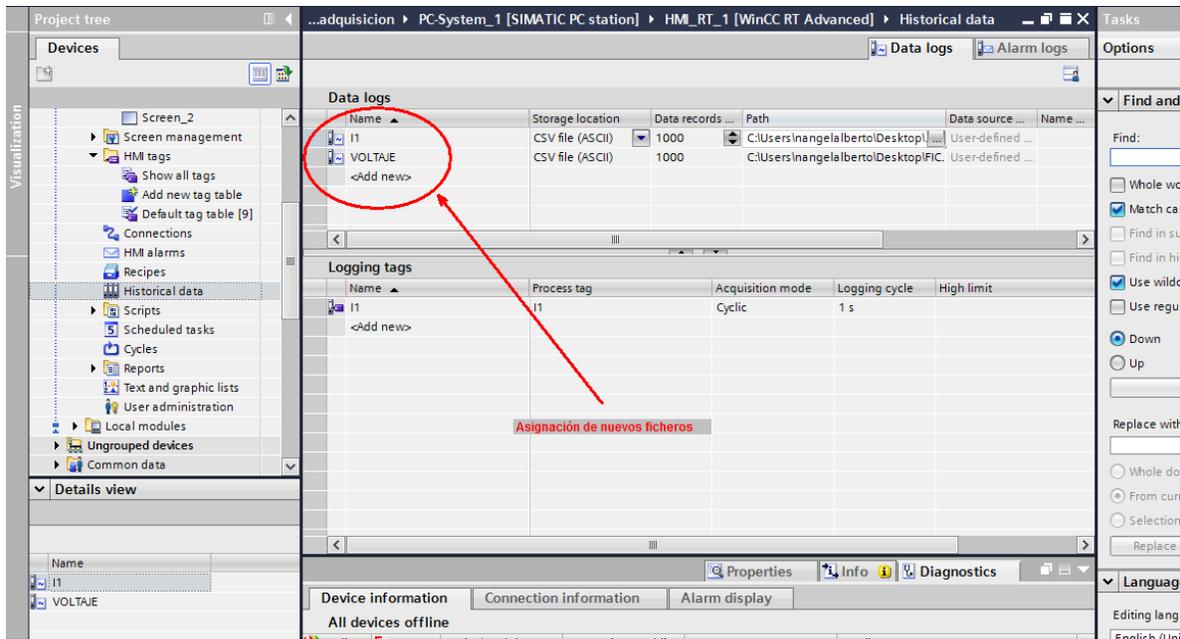


FIGURA 41. ASIGNACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL.

FUENTE: LOS AUTORES

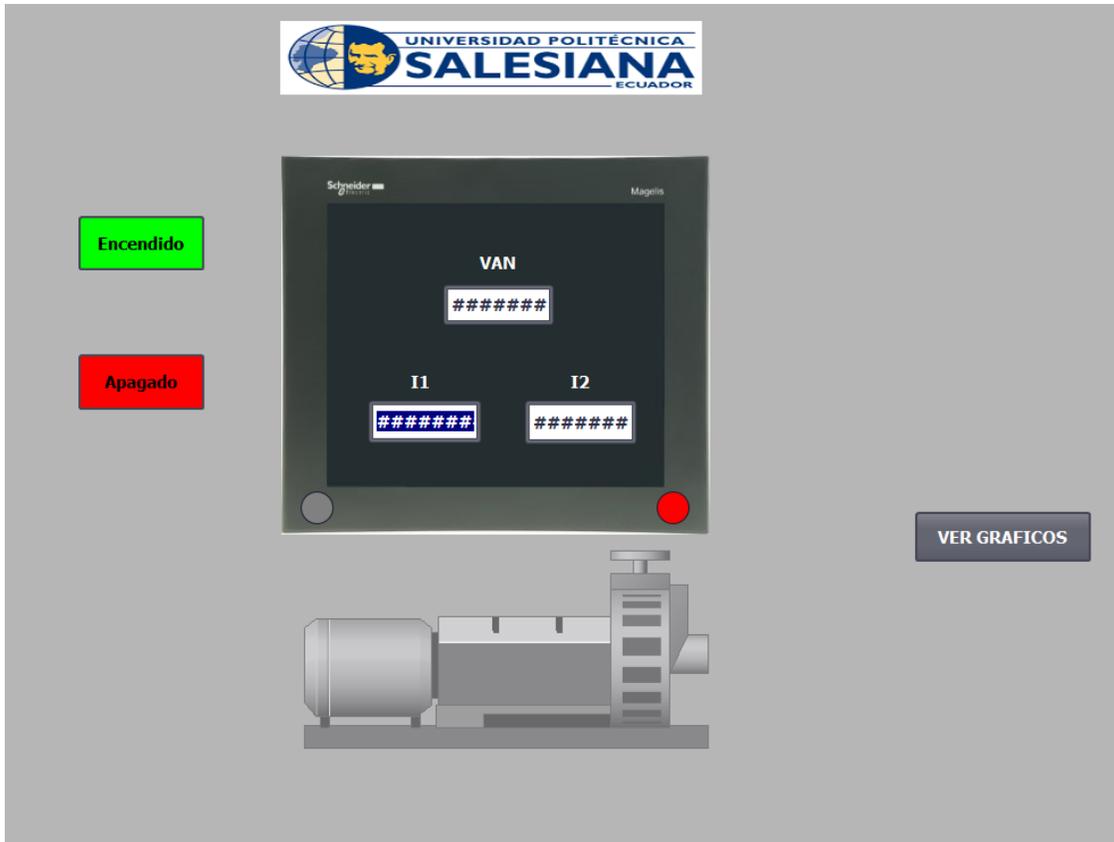
Para observar en tiempo real el comportamiento mediante una gráfica se debe establecer las variables en este caso de corrientes y voltajes en la opción historial data que sirve para la adquisición de datos y establecer una gráfica predeterminada para ello se crea las variables que requieran un registro, en la opción que presenta storage location donde se coloca csv file ASCII Un archivo delimitado por ASCII es un archivo de texto con la extensión. csv. Una vez realizado estas configuraciones se procede a direccionar un lugar para guardar el archivo como representa la figura 42.



**FIGURA 42. VARIABLES PARA EL HISTORIAL DE DATOS**

**FUENTE: LOS AUTORES**

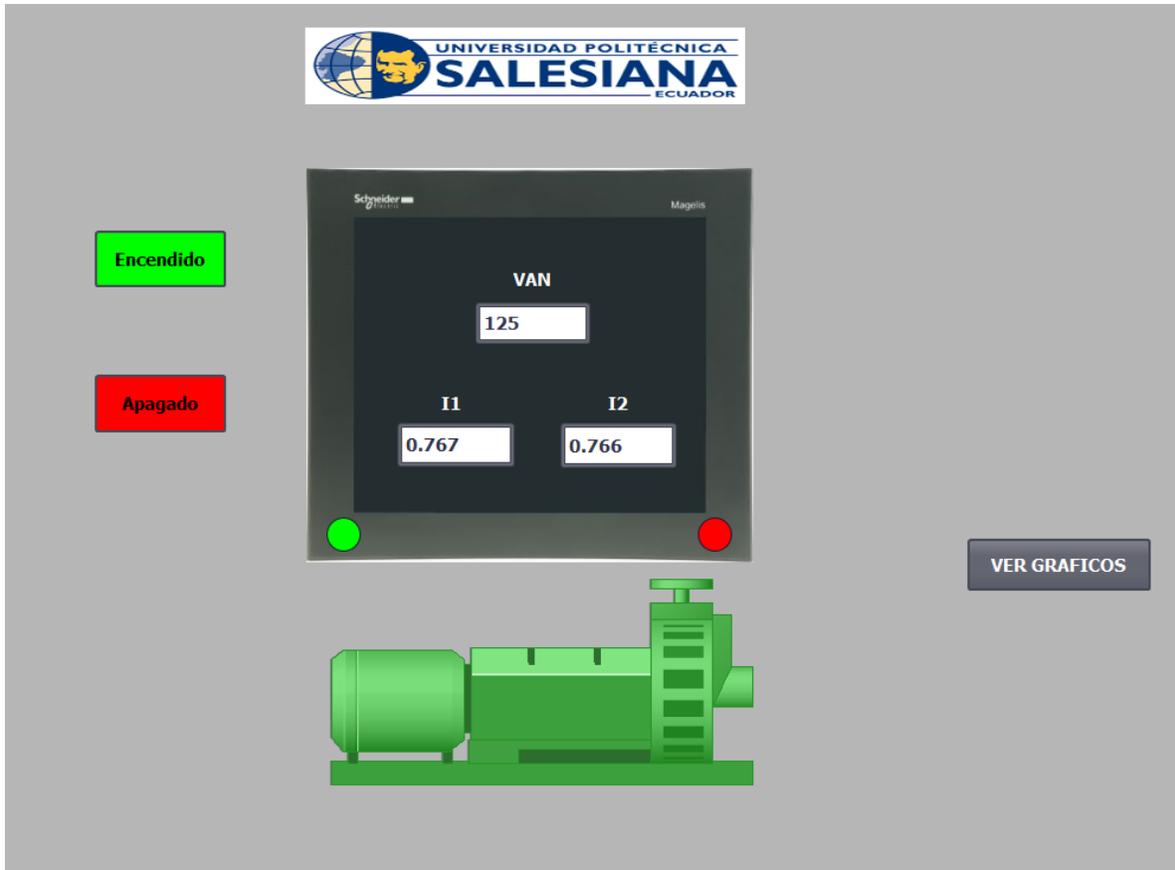
Para el registro y visualización de datos en tiempo real mediante el analizador se utiliza el TIA PORTAL versión 14, el WINCC RT Professional versión 14.0 y el SoMachine BASIC v. 1.6 como muestra la figura 43.



**FIGURA 43.** VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE SIN ENERGIZAR

**FUENTE:** LOS AUTORES

Los datos se actualizan automáticamente presentados en la figura 44, cada milisegundo según la configuración del temporizador.

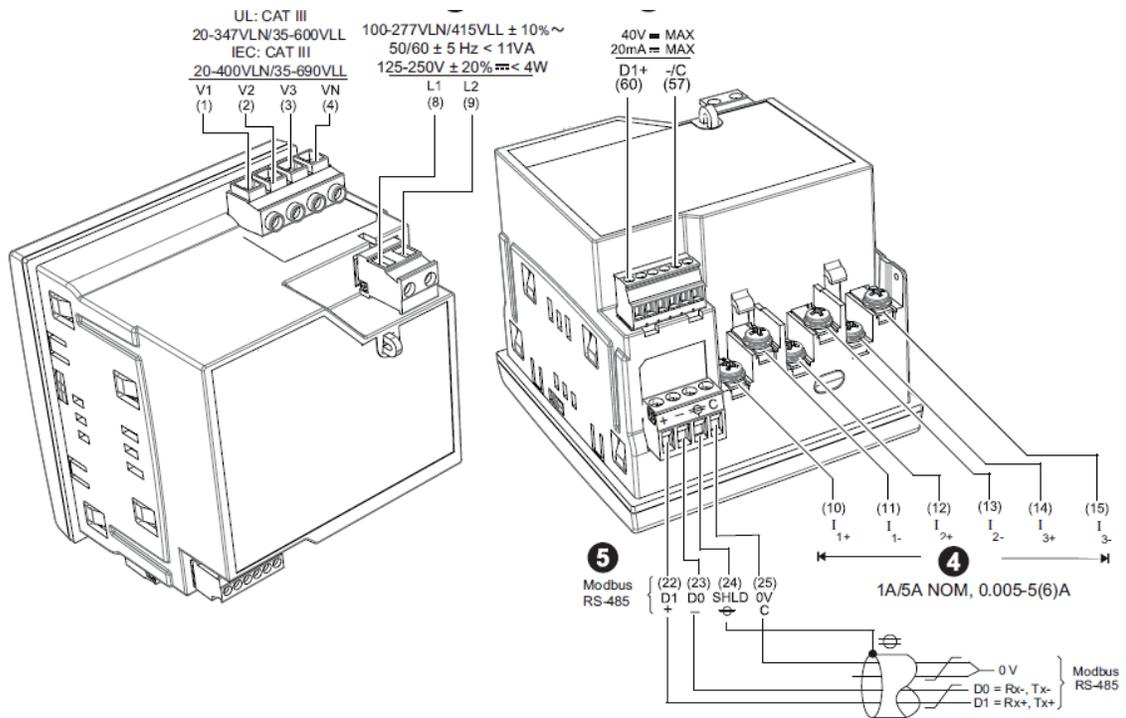


**FIGURA 44.** VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE ENERGIZADO

**FUENTE:** LOS AUTORES

Se establece la configuración de la tabla en el eje de las x y las y para cada parámetro de corrientes y voltaje en función del tiempo respectivamente.

En la figura 45, presenta una descripción del analizador de red PM5100 para las conexiones y saber sus tolerancias, especificaciones de voltaje y tensión máximo y mínimo en sus terminales.

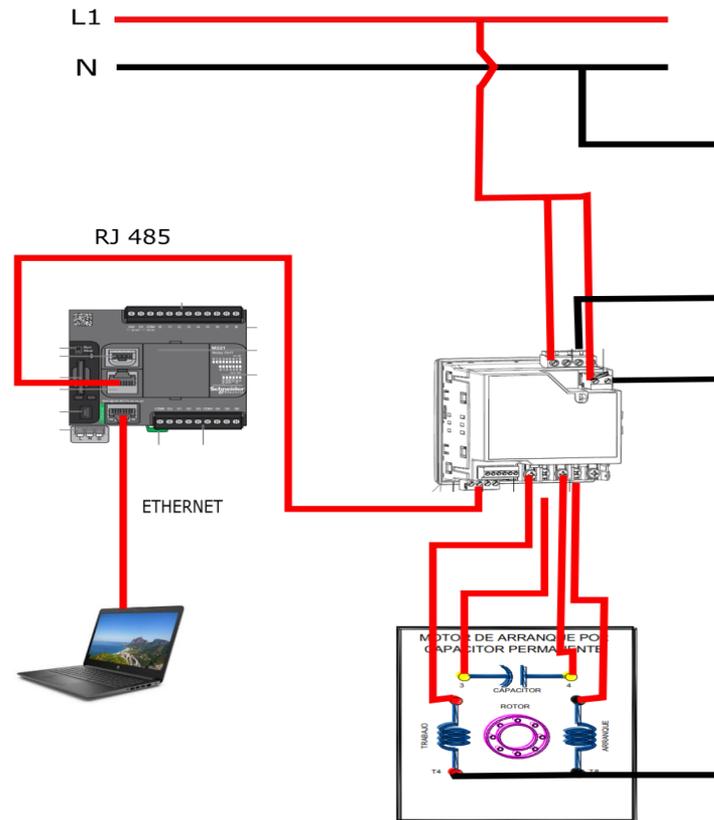


**FIGURA 45.** DIAGRAMA DESCRIPTIVO DEL ANALIZADOR DE REDES PM5100 SCHNEIDER.

**FUENTE:** 11

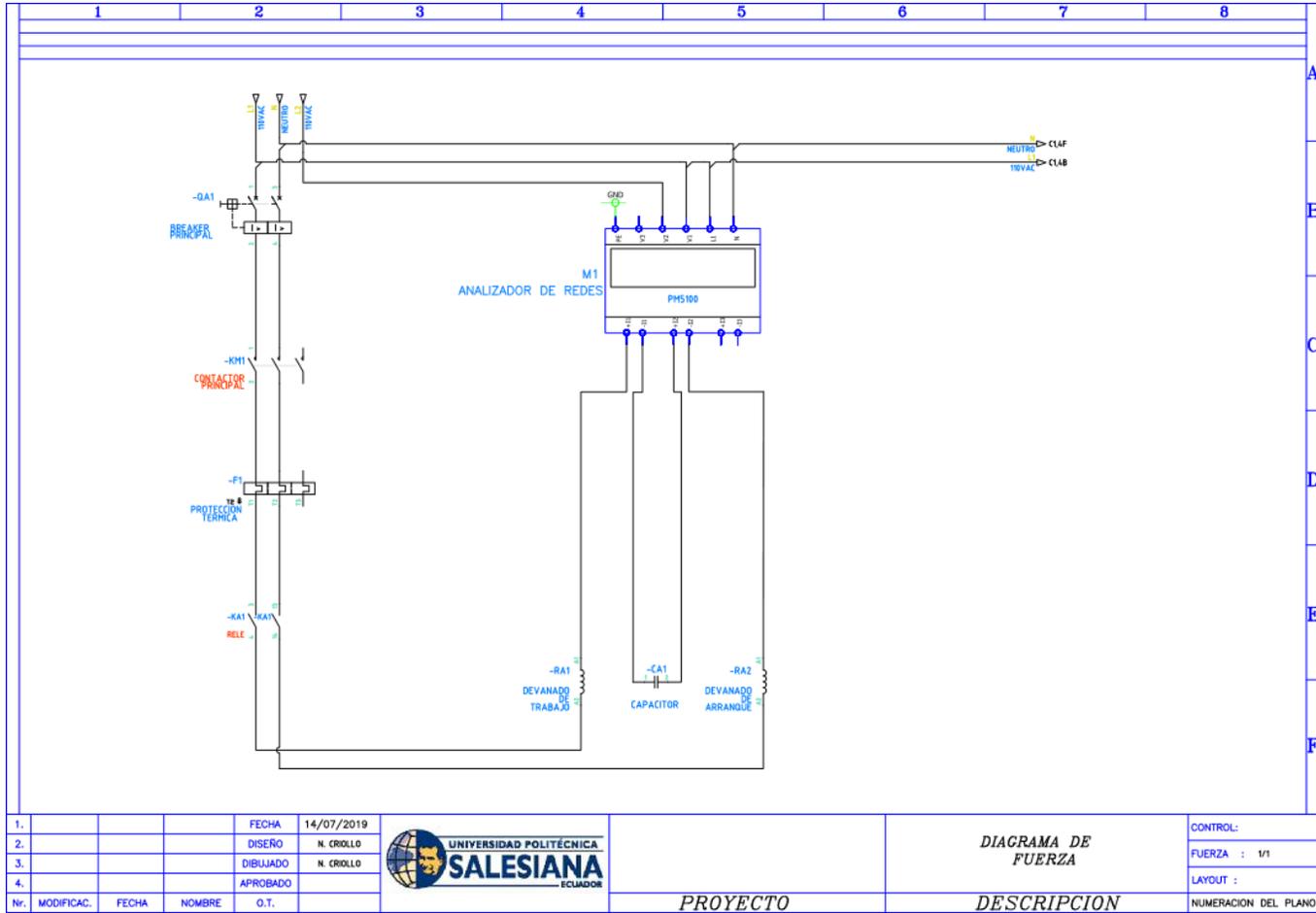
Las conexiones del sistema del analizador de redes PM5100 y el controlador lógico programable MODICON TM221CE16R SCHNEIDER.

### Diagrama de conexiones



**FIGURA 46.** DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE

**FUENTE:** LOS AUTORES



**FIGURA 47. DIAGRAMA DE FUERZA DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

FUENTE: LOS AUTORES

Para generar los datos de manera teórica se utiliza una herramienta de MATLAB® que es SIMULINK® que servirá para hacer la comparación de los resultados prácticos obtenidos del analizador de redes PM5100 SCHNEIDER.

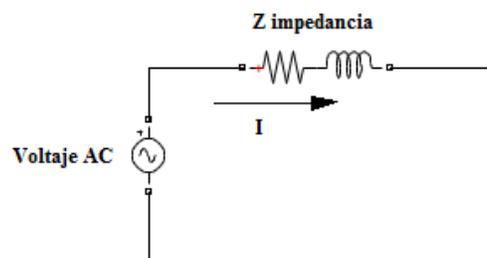
En la figura 48, se muestra todo el sistema en SIMULINK® que mostrará los valores de corrientes y velocidad del rotor.

Para el ingreso de los parámetros internos del motor asíncrono monofásico se realizó las siguientes pruebas tomando como valores como muestra la tabla 1.

**TABLA 7.** PRUEBAS DE MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MOTOR MONOFÁSICO

<b>Prueba para la obtención de parámetros interno del motor monofásico</b>		
<i>Parámetros</i>	<i>Bobina principal (Trabajo)</i>	<i>Bobina auxiliar(arranque)</i>
Van (V)	64.4	64.4
I (A)	2.89	2.475
FP	0.86	0.897

Prueba en vacío



**FIGURA 48.** CIRCUITO DEL DEVANADO PRINCIPAL

FUENTE: LOS AUTORES

Cálculo en el devanado principal.

$$Z = \frac{V}{I} \quad (3)$$

$$Z = \frac{64.4}{2.89} = 22.28 < 0.53 \quad (4)$$

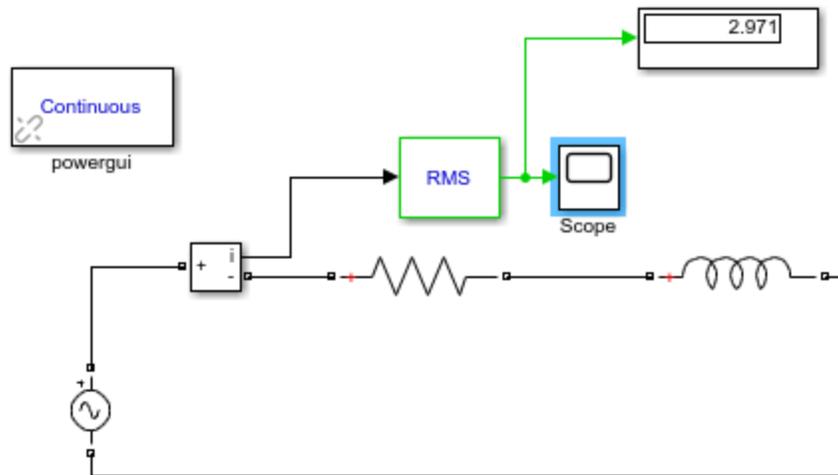
$$Z = 19.16 + j11.36 \quad (5)$$

$$R = 19.16 \, \Omega$$

$$X = 11.36 \, \Omega$$

$$X = j\omega l \quad (6)$$

- $R = 19.16 \, \Omega$
- $L = 0.030 \, \text{H}$



**FIGURA 49.** CIRCUITO DEL DEVANADO PRINCIPAL EN MATLAB®

**FUENTE:** LOS AUTORES

$$\%ERROR = \frac{V_t - V_r}{V_t} = \frac{2.97 - 2.89}{2.97} \times 100 = 2.69\%$$

$$\%ERROR = 2.69\%$$

Cálculo en el devanado auxiliar.

$$Z = \frac{V}{I} \tag{7}$$

$$Z = \frac{64.4}{2.475} = 26.02 < 0.45 \tag{8}$$

$$Z = 23.33 + j11.50 \Omega$$

9

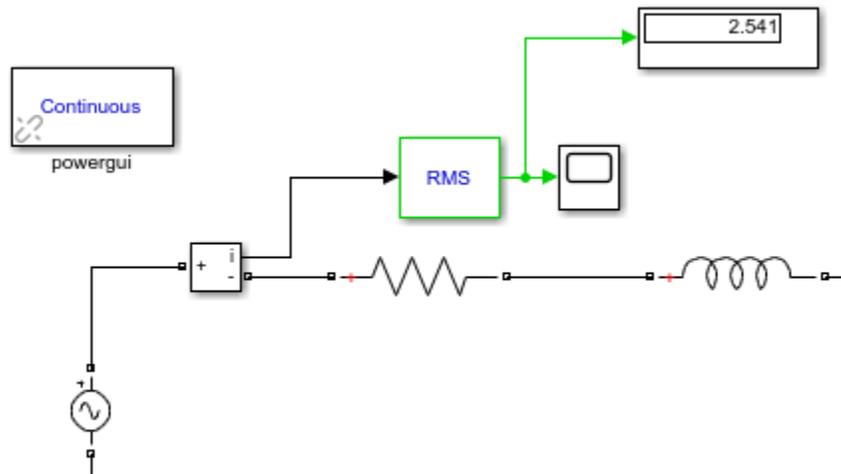
$$R=23.33\Omega$$

$$X=11.50\Omega$$

$$X = j\omega l$$

(10)

- $R=23.33 \Omega$
- $L=0.0305 \text{ H}$



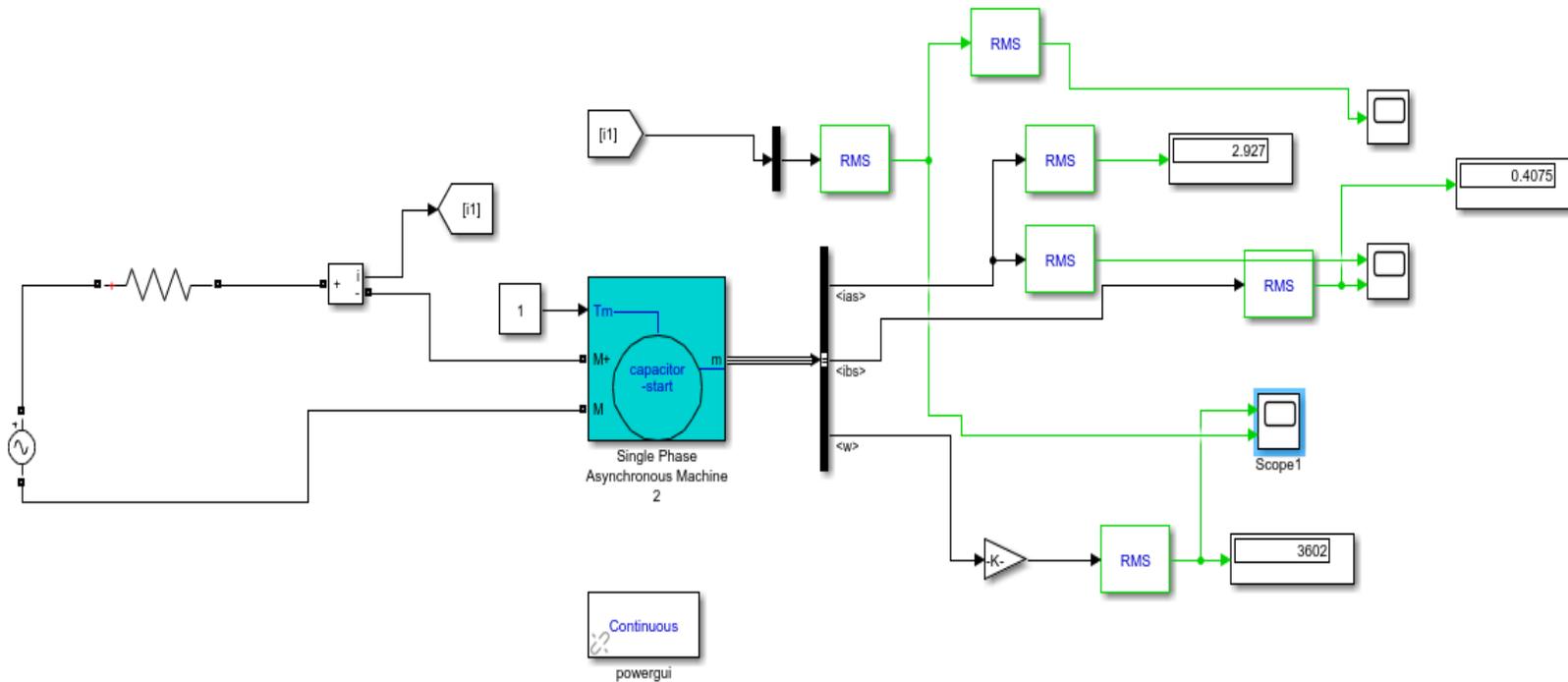
**FIGURA 50.** CIRCUITO DEL DEVANADO AUXILIAR EN MATLAB®

**FUENTE:** LOS AUTORES

$$\%ERROR = \frac{V_t - V_r}{V_t} = \frac{2.54 - 2.47}{2.54} \times 100 = 2.75\%$$

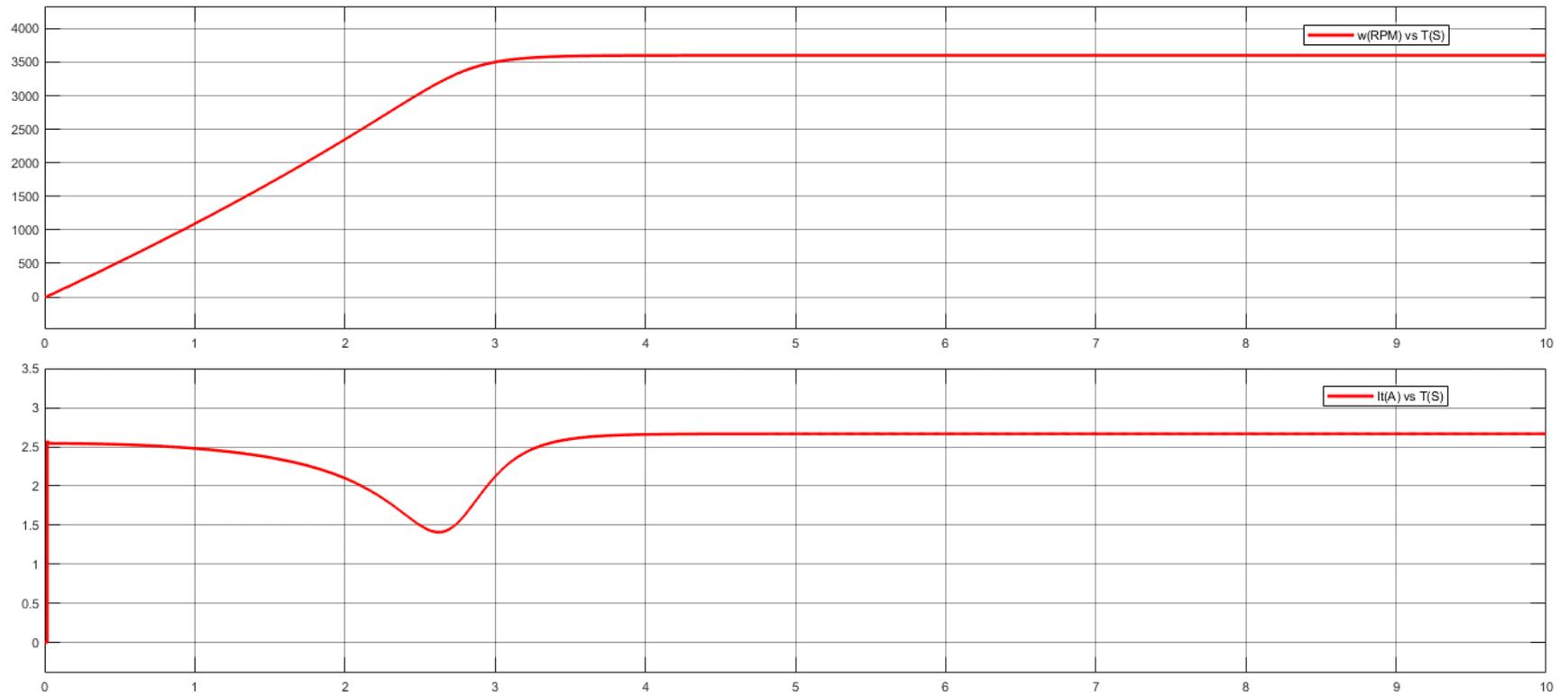
$$\%ERROR = 2.75\%$$

Gráficas obtenidas de MATLAB®, SIMULINK® según la figura 50. Se obtuvo mediante una simulación del modelo básico del motor monofásico con capacitor permanente, del cual se realizó pruebas variando algunos parámetros partiendo de la placa característica del motor.



**FIGURA 51. SIMULACIÓN DE UN MOTOR MONOFÁSICO**

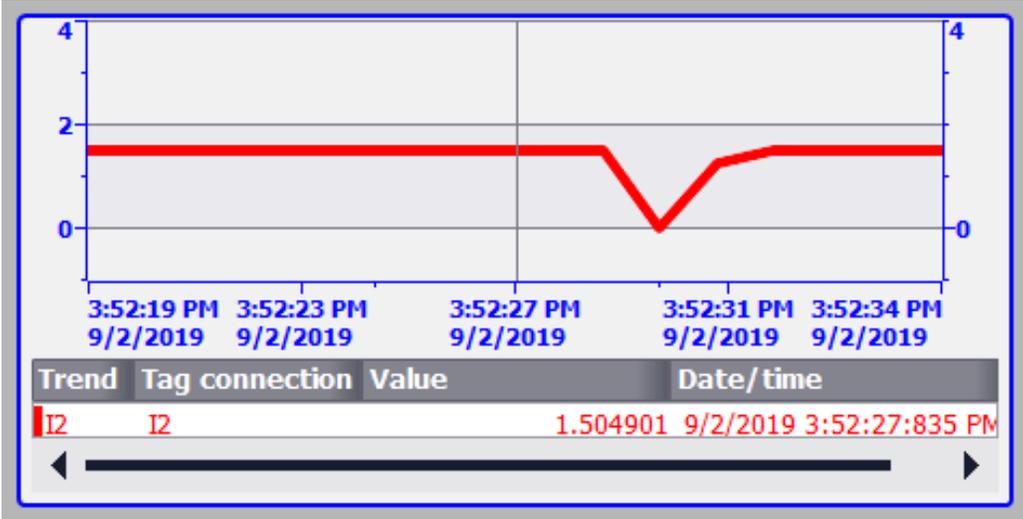
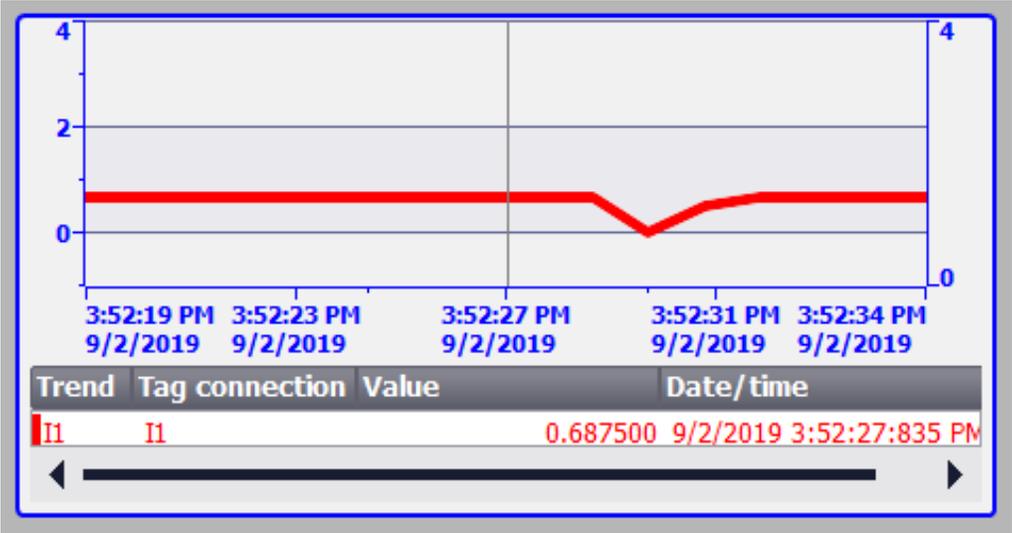
**FUENTE: LOS AUTORES**

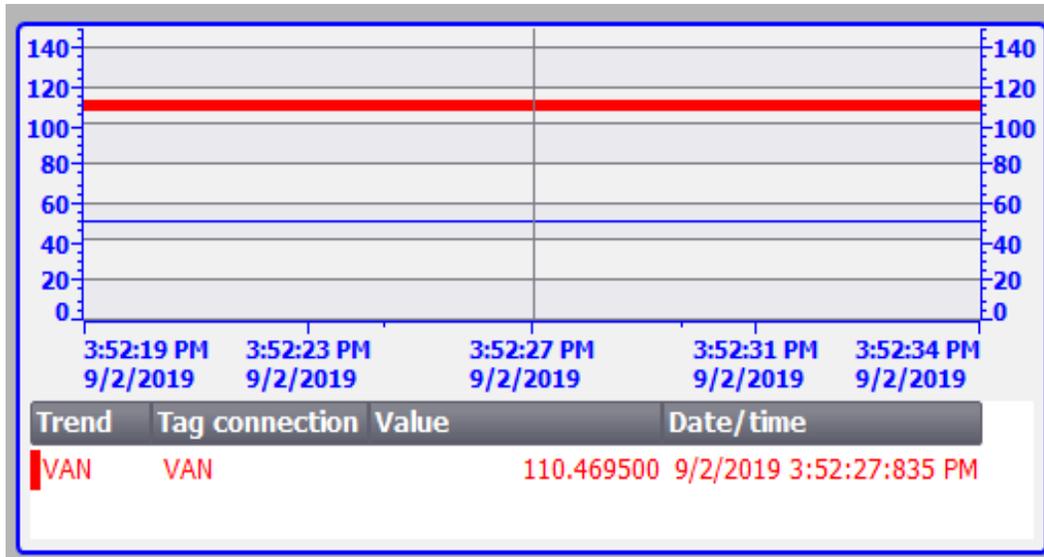


**FIGURA 52.** GRÁFICOS DE LA VELOCIDAD DE GIRO DEL ROTOR EN LA PARTE SUPERIOR Y LA CORRIENTE TOTAL DEL MOTOR EN LA PARTE INFERIOR

**FUENTE:** LOS AUTORES

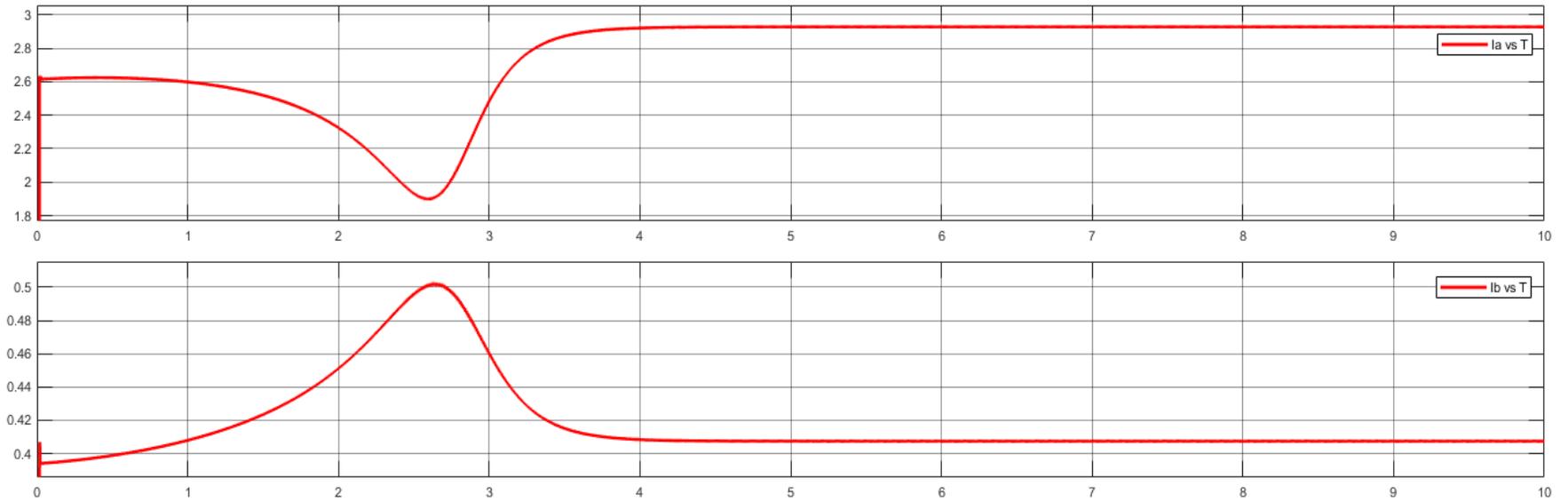
Los datos reales se presentan en las curvas de las figuras 53 que indican el comportamiento en el tiempo del voltaje y las corrientes en el devanado auxiliar y el devanado principal.





**FIGURA 53.** GRÁFICOS DE LOS DATOS EN EL WINCC RT PROFESSIONAL VERSIÓN 14.0 DEL REGISTRO DEL ANALIZADOR DE RED PM5100 SCHNEIDER

**FUENTE:** LOS AUTORES



**FIGURA 54.** GRÁFICAS DE CORRIENTES DEL DEVANDO PRINCIPAL Y AUXILIAR.

**FUENTE:** LOS AUTORES

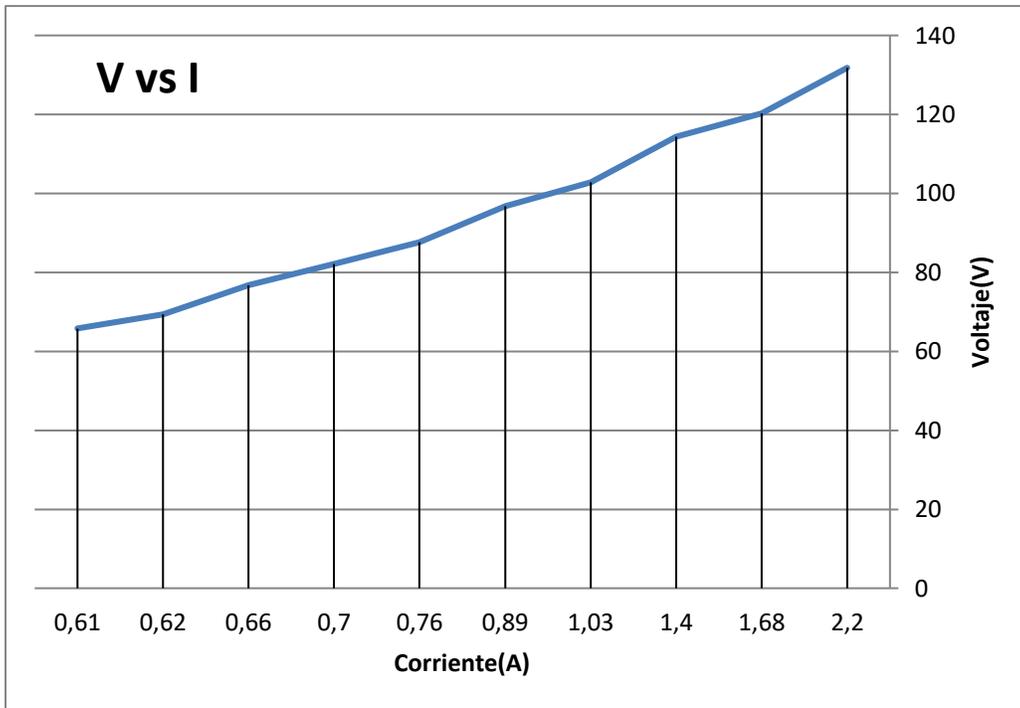
Resistencia en serie R (ohm)	Voltaje entrada del motor Van (V)	Corriente en el devanado principal		PORCENTAJE DE ERROR %	Corriente en el devanado auxiliar		PORCENTAJE DE ERROR %	Velocidad de giro del rotor		PORCENTAJE DE ERROR %
		Ias (A)			Ibs (A)			$\omega$ (RPM)		
FIJO	FIJO	REAL	TEÓRICO MATLAB®		REAL	TEÓRICO MATLAB®		REAL	TEÓRICO MATLAB®	
5 $\Omega$	131.8	2.62	2.47	6.07	0.84	0.95	11.57	3565	3563	0.05
	120.2	2.11	2.15	1.86	0.75	0.81	7.40	3559	3558	0.02
	114.3	1.87	1.82	2.74	0.71	0.67	5.63	3563	3562	0.028
	102.8	1.47	1.56	6.12	0.64	0.59	7.81	3563	3559	0.11
	96.8	1.27	1.35	5.92	0.60	0.54	10	3559	3557	0.05
9 $\Omega$	131.8	2.48	2.53	1.97	0.80	0.87	8.75	3563	3562	0.028
	120.2	1.96	1.89	3.57	0.72	0.79	9.72	3563	3561	0.056
	114.3	1.73	1.79	3.35	0.69	0.63	8.69	3561	3559	0.056
	102.8	1.35	1.46	7.53	0.61	0.55	9.83	3556	3551	0.14
	96.8	1.20	1.37	14.	0.59	0.51	13.55	3558	3555	0.08
15 $\Omega$	131.8	2.20	2.14	2.80	0.76	0.72	5,60	3564	3562	0.05
	120.2	1.74	1.88	7.40	0.79	0,78	5.50	3558	3522	1.02
	114.3	1.58	1.63	3.16	0.66	0.59	10.60	3560	3562	0,056
	102.8	1.22	1.29	5.73	0.60	0.52	13.33	3551	3553	0.056
	96.8	1.09	1.17	6.83	0.57	0.47	17.55	3551	3547	0.11

**TABLA 8.** ADQUISICIÓN DE DATOS DE PRUEBAS DE VALORES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

Los resultados obtenidos son del circuito del ANEXO 2

5 ( $\Omega$ )			
	<b>Voltaje(V)</b>	<b>Corriente(A)</b>	<b>VELOCIDAD(RPM)</b>
1	131,8	2,2	3564
2	120,2	1,68	3560
3	114,3	1,4	3558
4	102,8	1,03	3555
5	96,8	0,89	3550
6	87,6	0,76	3542
7	82,1	0,7	3530
8	76,8	0,66	3523
9	69,3	0,62	3496
10	65,8	0,61	3480

**TABLA 9.** VALORES DE VOLTAJE, CORRIENTE Y REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) PARA LOS VALORES DEL SISTEMA PARA AÑADIENDO UNA RESISTENCIA EN SERIE de 5  $\Omega$ .

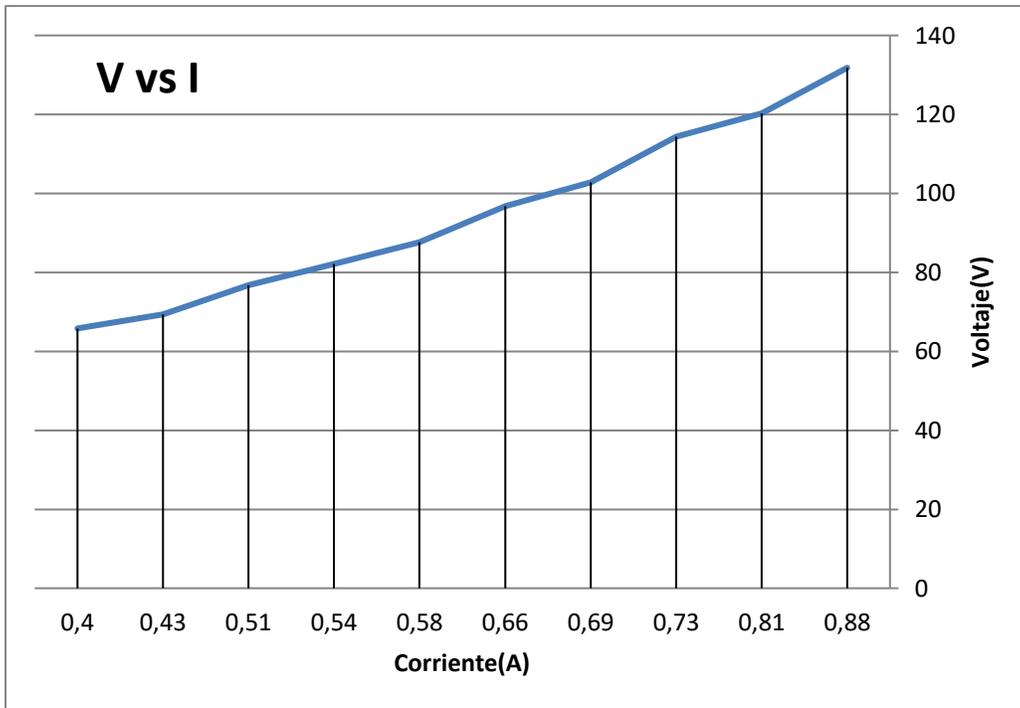


**FIGURA 55.** GRÁFICO V VS I PARA UNA RESISTENCIA DE 5 Ω

**FUENTE:** LOS AUTORES

9 ( $\Omega$ )			
	Voltaje(V)	Corriente(A)	VELOCIDAD(RPM)
1	131,8	0,88	3564
2	120,2	0,81	3561
3	114,3	0,73	3560
4	102,8	0,69	3555
5	96,8	0,66	3554
6	87,6	0,58	3538
7	82,1	0,54	3533
8	76,8	0,51	3459
9	69,3	0,43	3493
10	65,8	0,4	3492

**TABLA 10.** VALORES DE VOLTAJE, CORRIENTE Y REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) PARA LOS VALORES DEL SISTEMA PARA AÑADIENDO UNA RESISTENCIA EN SERIE DE 9  $\Omega$ .

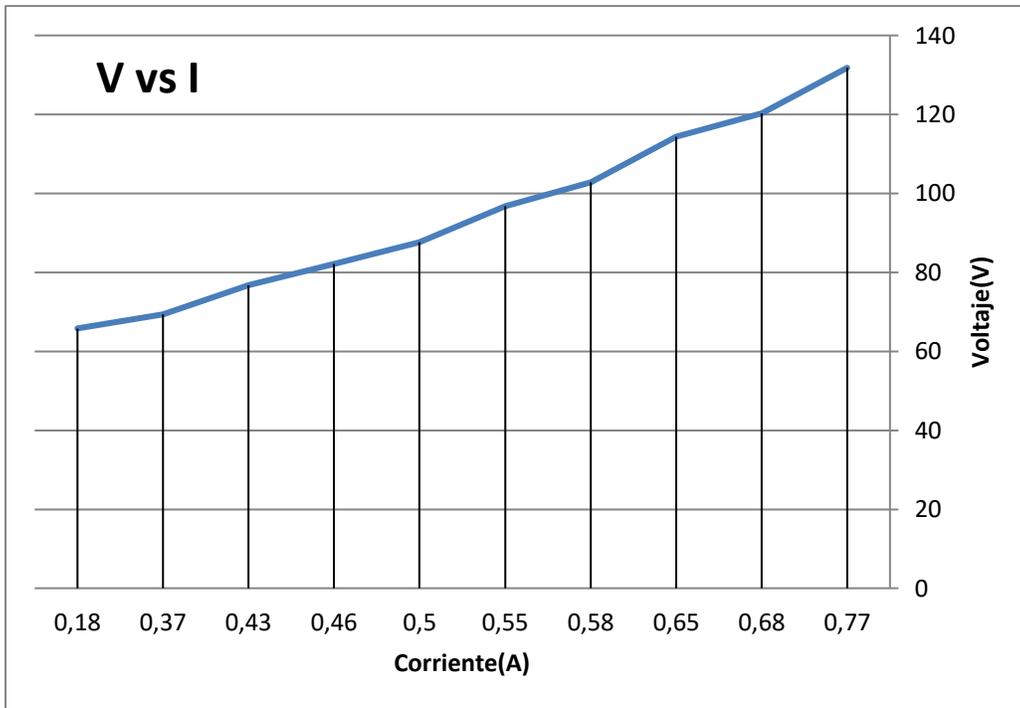


**FIGURA 56.** GRÁFICO V VS I PARA UNA RESISTENCIA DE 9 Ω

**FUENTE:** LOS AUTORES

15 ( $\Omega$ )			
	<b>Voltaje(V)</b>	<b>Corriente(A)</b>	<b>VELOCIDAD(RPM)</b>
1	131,8	0,77	3561
2	120,2	0,68	3560
3	114,3	0,65	3558
4	102,8	0,58	3553
5	96,8	0,55	3550
6	87,6	0,5	3532
7	82,1	0,46	3536
8	76,8	0,43	3522
9	69,3	0,37	3509
10	65,8	0,18	3490

**TABLA 11.** VALORES DE VOLTAJE, CORRIENTE Y REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) PARA LOS VALORES DEL SISTEMA PARA AÑADIENDO UNA RESISTENCIA EN SERIE de 15  $\Omega$



**FIGURA 57.** GRÁFICO V VS I PARA UNA RESISTENCIA DE 15  $\Omega$ .

**FUENTE:** LOS AUTORES

## **CONCLUSIONES**

Se realizó el análisis y simulación de un motor monofásico con capacitor permanente mediante la adquisición de datos y comparación de resultados obtenidos en los resultados teórico y prácticos.

Se pudo construir un módulo de pruebas didáctico con todas las necesidades técnicas para poder hacer pruebas en el desarrollo de las clases.

Se comprobó el funcionamiento de todo el módulo de pruebas con una práctica demostrativa y programa de funcionamiento y se puede observar su operabilidad de cada componente.

Se logró realizar una conexión entre el TIA PORTAL 14 y el SoMachine BASIC versión 1.6 que permitió una visualización del proceso y control del mismo.

## **RECOMENDACIONES**

Para futuras investigación y proyectos de titulación se puede utilizar este trabajo como guía general de estudio, proceso y argumentación para elaborar programas en SoMachine BASIC versión 1.6 y debido a la práctica de funcionamiento que se utilizó en este proyecto se puede conocer y ampliar un poco más de información del control de los procesos aplicados a otro tipo de motores como son: los motores paso a paso, motores universales entre otros.

Si se requiere datos o comportamiento de un motor monofásico en circunstancias no habituales ya que se sometieron a diferentes voltajes y puede generar nuevos puntos de vista.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Gönen, *Electrical Machines with MATLAB®*, second edition, CRC Press Taylor & Francis Group, 2012.
- [2] Carry, C. C., *Electric Machinery. A Coordinated Presentation of AC and DC Machines*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1958.
- [3] <https://capacitaciontecnica.online/2018/08/20/verificar-los-condensadores-o-capacitores-de-un-motor-monofasico/>, recuperado el 13 de febrero del 2019
- [4] I. Boldea, S. A., *Nasar The Induction Machines Design Handbook* second edition, CRC Press Taylor & Francis Group, 2010.
- [5] C. G. Veinott, *Handbook of Electric Machines*, McGraw Hill Inc., New York, 1987, Chapter 6
- [6] T. J. E. Miller, J. H. Gliemann, C. B. Rasmussen, D. M. Ionel, *Analysis of a Tapped-Winding Capacitor Motor*, Record of ICEM-1998, Istanbul, Turkey, Vol. 1, pp. 581 – 585.
- [7] M. Popescu, C.B. Rasmussen, T. J. E. Miller, M. McGilp, *Effect of MMF Harmonics on Single-Phase Induction Motor Performance – A Unified Approach*, Record of IEEE–IAS–2007, pp. 1164 – 1170.
- [8] Del Toro, V., *Electric Machinery and Power Systems*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1985.
- [9] <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/> , recuperado el 2 de junio del 2019.
- [10] <https://www.logicbus.com.mx/Modbus.php>, recuperado el 15 de julio del 2019
- [11] [http://originfaq.proface.com/resources/sites/PROFACE/content/live/FAQS/142000/FA142636/es\\_ES/eio0000000744.04.pdf](http://originfaq.proface.com/resources/sites/PROFACE/content/live/FAQS/142000/FA142636/es_ES/eio0000000744.04.pdf), recuperado el 25 de febrero del 2019
- [12] <https://www.schneider-electric.com/en/faqs/FA359633/>, recuperado el 3 de agosto del 2019

## ANEXOS

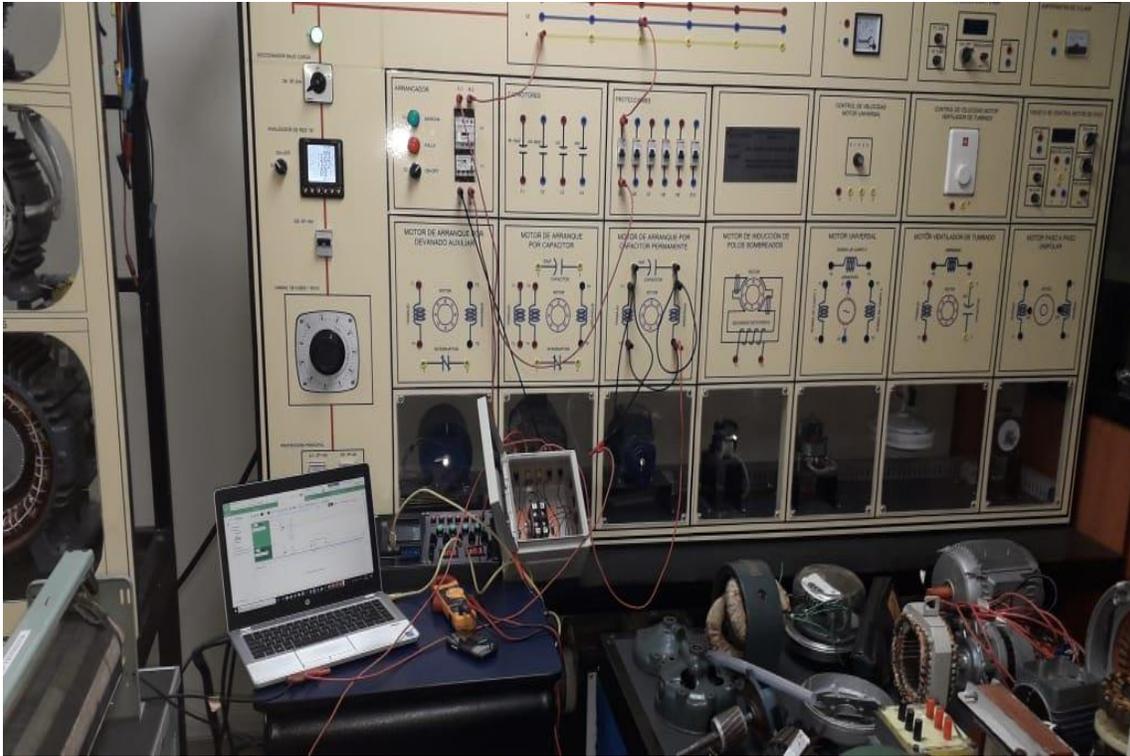
### ANEXO 1. MEDICIONES Y PUESTA EN MARCHA DE LA PRÁCTICA

Interacción con resistencias para tomas de medidas de corriente y tensión del motor monofásico con capacitor permanente y conexionado de control y fuerza del sistema.



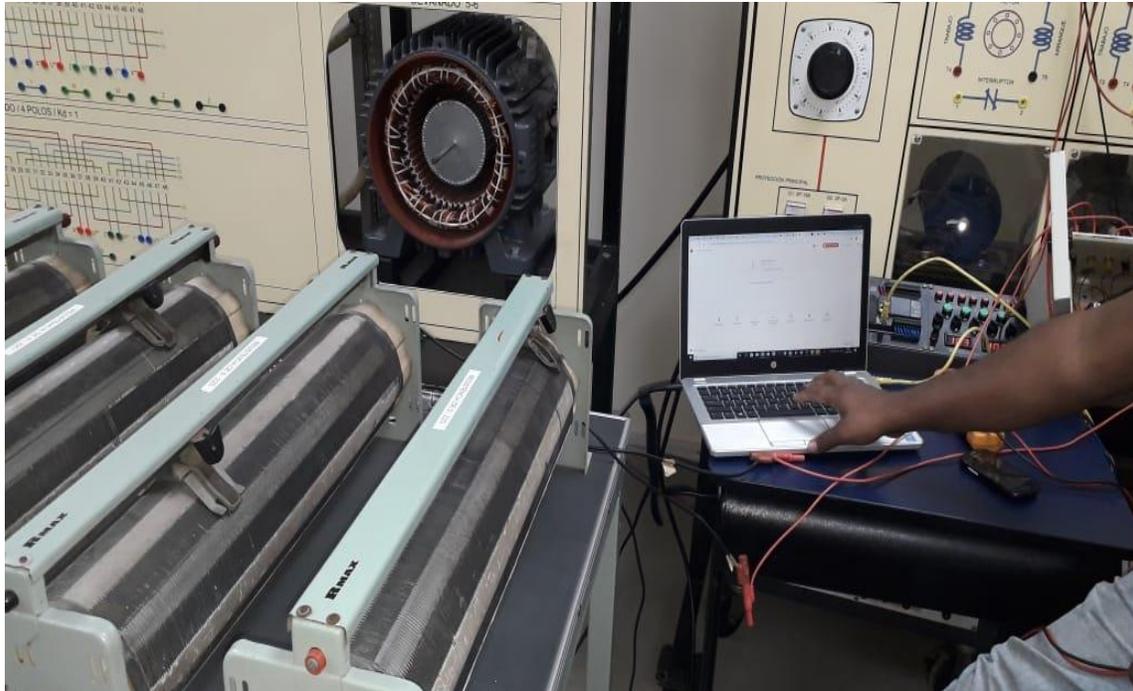
FIGURA 58. CONEXIÓN E INSTALACIÓN DEL SISTEMA.

FUENTE: LOS AUTORES



**FIGURA 59. CONEXIÓN DE PRUEBA DEL MOTOR MONOFÁSICO**

**FUENTE: LOS AUTORES**



**FIGURA 60. PRUEBAS CON RESISTENCIAS AL MOTOR MONOFÁSICO CON CAPACITOR PERMANENTE**

**FUENTE: LOS AUTORES**



**FIGURA 61. FUNCIONAMIENTO AÑADIENDO RESISTENCIA AL MOTOR MONOFÁSICO**

**FUENTE: LOS AUTORES**



**FIGURA 62. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

**FUENTE: LOS AUTORES**

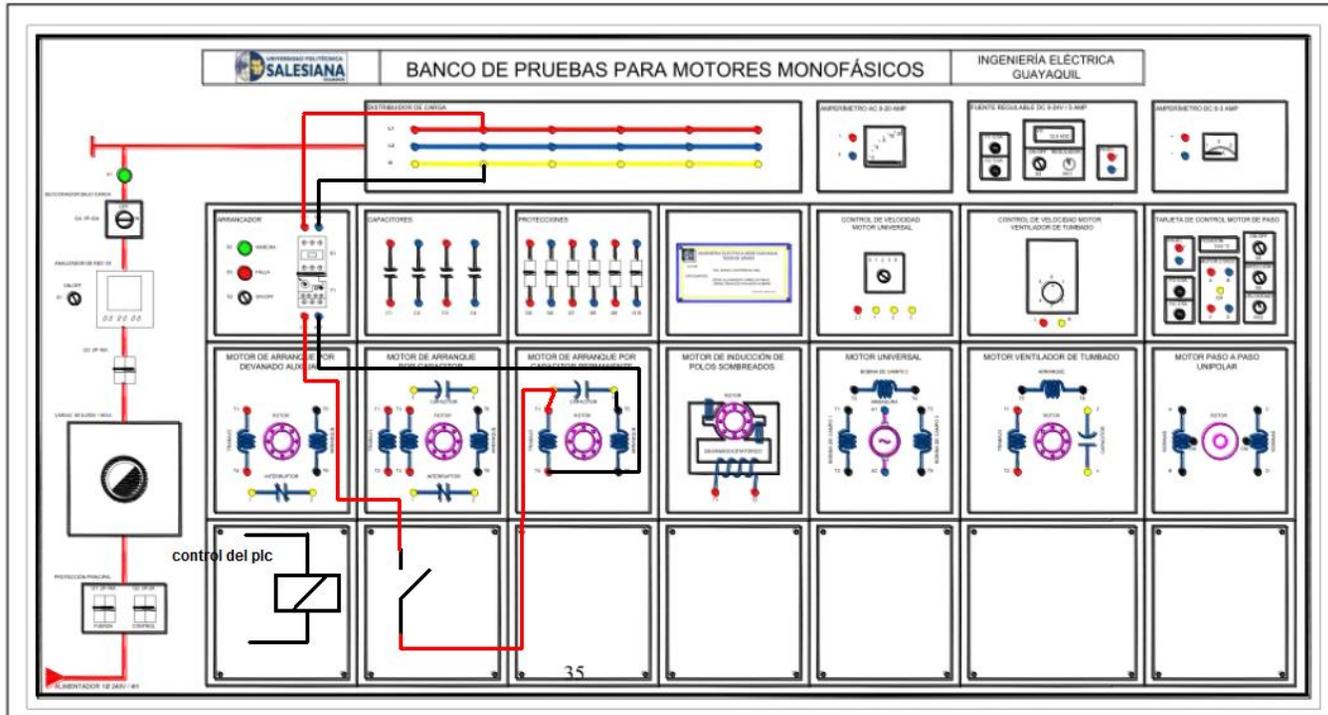


FIGURA 63. DIAGRAMA DE CONEXIONES

FUENTE: LOS AUTORES



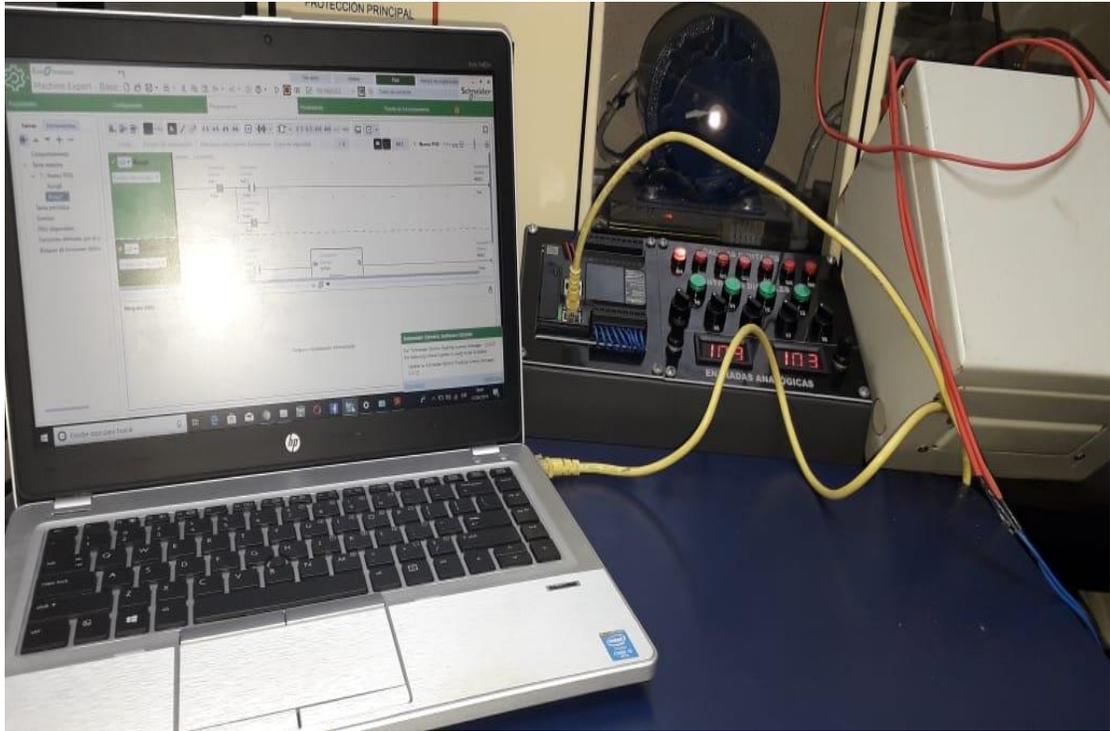
**FIGURA 64.** INSTALACIÓN ORDENADOR CON EL MÓDULO DE PRUEBAS RELÉ AL BANCO DE PRUEBAS

**FUENTE:** LOS AUTORES



**FIGURA 65.** INSTALACIÓN GENERAL DEL CIRCUITO

**FUENTE:** LOS AUTORES



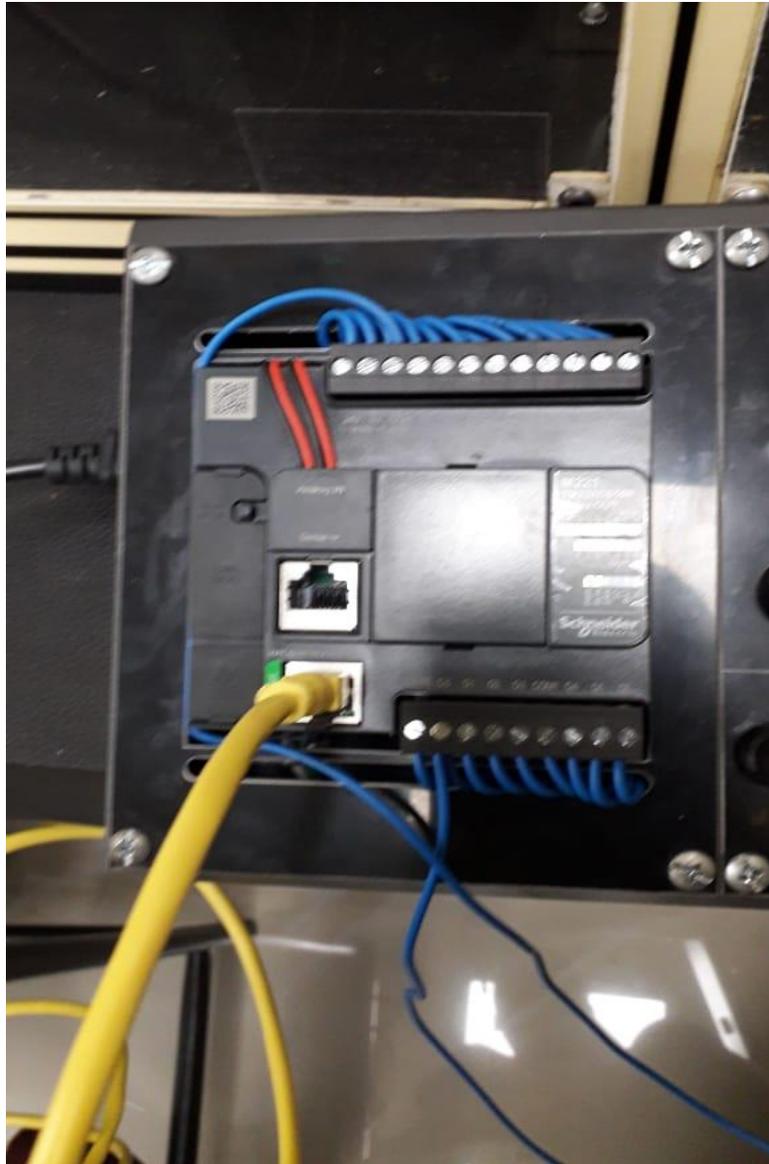
**FIGURA 66. PUESTA EN MARCHA DEL PROCESO**

**FUENTE: LOS AUTORES**



**FIGURA 67.** ENCENDIDO DEL MÓDULO DE PRUEBAS

**FUENTE:** LOS AUTORES



**FIGURA 68.** CONEXIÓN DE CABLE ETHERNET PARA ENLACE CON EL COMPUTADOR PORTÁTIL

**FUENTE:** LOS AUTORES



**FIGURA 69.** ACOPLAMIENTO DE RELÉ AL SISTEMA

**FUENTE:** LOS AUTORES

## ANEXO 2. RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se realizó la toma de medidas de corriente en el devanado principal y el auxiliar además del parámetro revoluciones por minuto del rotor.



FIGURA 70. PARÁMETROS DE CORRIENTES Y VELOCIDAD DE GIRO EN RPM

FUENTE: LOS AUTORES

